

# 裂解温度对新疆棉秆生物炭 物理化学性质的影响

何云勇<sup>1,2</sup> 李心清<sup>1,\*</sup> 杨放<sup>1,2</sup> 程红光<sup>1</sup>,  
张立科<sup>1,2</sup> 王倩<sup>1,2</sup> 黄一敏<sup>1,2</sup> 李阳<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所 环境国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 生物质的裂解温度影响其所生产的生物炭的物理和化学性质,进而影响其田间应用效果。棉花秸秆是干旱区特别是新疆地区的主要农业生物质资源,其生物炭利用途径有望克服现有秸秆利用途径的不足,但对棉秆生物炭理化性质及其变化的认识还很缺乏。本文在不同的裂解温度下对新疆棉秆生物炭物理和化学性质进行研究,发现随着裂解温度的升高,生物炭的产率、阳离子交换量、O/C和H/C值降低,pH、电导和持水性能提高,Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>趋势不明显,Cl<sup>-</sup>和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等盐碱化离子以及Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>营养元素含量随温度的升高降低;C、N、S、C/N和灰分等均提高,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N在550℃碳化条件下含量最高。因此在田间应用中,应针对土壤特点和解决的问题,调控碳化温度,从而达到趋利避害的目的。

**关键词:** 生物炭; 裂解温度; 物理化学性质; 固碳

中图分类号: S141 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2016)01-0019-06 doi: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2016.01.003

中国是农业大国,农作物秸秆产量大,有效利用率低,秸秆焚烧普遍,造成严重大气污染。有统计显示我国每年秸秆的焚烧量约 $1.4 \times 10^8$  t<sup>[1]</sup>。大面积秸秆焚烧不仅造成了严重的环境问题,更是生物资源的巨大浪费<sup>[2]</sup>。如何安全合理地处理秸秆成为促进农业可持续发展、改善生态环境亟待解决的问题。近年来国际上兴起的生物炭(Biochar)技术为解决这一难题提供了一条新思路<sup>[2]</sup>。该技术是将生物质或其衍生物经碳化过程转化为碳化物,然后施用于土壤从而产生节水、节肥、固碳、改善土壤质量、提高作物产量的效果<sup>[3-5]</sup>。

由于是一种新的技术理念,目前对生物炭技术农田应用效果的认识还存在不同之处。其中一个重要原因是对生物炭的物理和化学性质差异及其成因认识不足。研究表明,生物炭性质会因生物质种类和裂解工艺等条件的不同而存在很大差异,最终会影响生物炭在土壤中的应用效果。裂解温度是裂解工艺的重要参数,它不仅影响生物炭的碳化程度和产率,更决定诸如孔隙度、比表面、pH、CEC、

电导率和C含量等生物炭的物理化学性质<sup>[6-9]</sup>,是生物炭应用研究必须掌握的条件参数。

新疆是我国重要的棉花生产基地,棉花种植面积约133万hm<sup>2</sup>,每年秸秆产量超过800万t<sup>[10]</sup>。目前绝大多数秸秆还田利用<sup>[10]</sup>,和直接焚烧。秸秆还田利用,虽然增加了土壤有机质含量,但一个严重后果是加重病虫害<sup>[11]</sup>;直接焚烧则会造成空气污染和资源浪费。目前亟需寻求新的棉花秸秆利用途径。生物炭技术利用途径有望改变现有利用方式的不足。但目前对棉秆生物炭理化性质及其与碳化温度之间关系的认识还很缺乏。本文对新疆棉秆在不同裂解温度下的物理和化学性质进行研究,以期期为棉秆的碳化和生物炭技术在新疆地区的应用提供基础数据和理论支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 生物炭的制备

将采自新疆喀什地区(39°23'45"N,75°58'43"E)的棉花秸秆粉碎,过2mm筛孔,混匀。在105℃下

收稿日期: 2015-04-02; 改回日期: 2015-10-18

基金项目: 国际科技合作与交流专项(2015DFG92450); 中国科学院“科技支新”项目; 环境地球化学国家重点实验室开放课题。

第一作者简介: 何云勇(1989-)男,硕士研究生,研究方向为生物炭技术的应用。E-mail: heyunyong1989@163.com.

\* 通讯作者: 李心清(1965-)男,博士,研究员,从事环境地球化学研究。E-mail: lee@mail.gyig.ac.cn.

干燥 24 h。并将粉碎后的棉秆生物质用自制的搅拌式生物碳化设备进行碳化。该设备进料速度在 0~1 kg/min 可控,温控精度为 $\pm 10$  °C,具备搅拌功能,保证物料反应的均一性。每次碳化生物质重为 2 kg,进料速度 0.6 kg/min,裂解温度分别控制在 350 °C、450 °C、550 °C、650 °C 和 750 °C,达到预设温度后的停留时间设为 5 min。生物炭制成后称重,计算产率,研磨经过 100 目的筛孔筛选,将筛选好的生物炭用以进行理化性质分析。上述温度条件下所生产的生物炭分别标记为 B<sub>350</sub>、B<sub>450</sub>、B<sub>550</sub>、B<sub>650</sub>、B<sub>750</sub>。

### 1.2 棉秆生物炭理化性质测定方法

**灰分测定:**称取 2.00 g 生物炭放置于坩埚中,在 750 °C 马弗炉中燃烧 6 h,自然冷却后称重。然后再放在 750 °C 马弗炉中 30 min,冷却后称重。如此反复,直至前后两次称重相差小于 0.0005 g 时即为灰分质量( ASTM D1762-84)。

**元素分析:**总碳(C)、氮(N)、氢(H)、硫(S),由元素分析仪测定( vario MACRO CNS; Elementar, Germany)。氧含量通过扣除灰分后假设生物炭完全由 C、H、O、N、S 组成计算所得。

**pH 值和电导率:**称取 2.00 g 生物炭于烧杯中,加入 40 mL 去离子水中,震荡 1 h,静止 10 min,取上层清液,分别用 pH 计( PHS-3CT, Shanghai WeiYe Instrument)和电导仪( HANNA HI9033)测定溶液的 pH 值和电导。

**阳离子交换量(CEC):**取 2.00 g 研磨过的生物炭于 50 mL 的离心管中,加入 10 mL 浸提液(0.4 mol/L NaOAc-0.1 mol/L NaCl 用 60% 乙醇溶液定容,3 mol/L 盐酸调 pH 于 7),震荡 1 h,在转速 4200 rpm 离心机中离心 20 min,去除上层清液,重复三次,从而用 Na<sup>+</sup>取代生物炭中可交换阳离子。

经以上过程反复淋洗后,在离心管中加入 10 mL、0.25 mol/L 的 Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 震荡 1 h。转速 4200 rpm 离心 20 min,取上清液,如此重复三次,以提取生物炭中所有 Na<sup>+</sup>。将收集所得上清液于 50 mL 容量瓶中定容。用离子色谱测定溶液中 Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 含量( DIONEX ICS-90)。最终阳离子交换量(CEC,  $\mu\text{mol/kg}$ ) 通过计算得到。

**生物炭持水能力:**称取生物炭 2.00 g( $M_1$ ),加 20 mL 左右水充分润湿,震荡 1 h,并放置 24 h 后,转移到放有滤纸层的漏斗中,并以足量的水冲洗,

保证炭颗粒全部转移到漏斗中。记录加入的水重量( $M_2$ )和滤出液的重量( $M_3$ ),同时做空白实验,测试滤纸吸水能力( $M_4$ ,滤纸重量均一),并计算挥发量( $M_5$ )<sup>[12]</sup>。

持水能力(WHC) =

$$(M_2 - M_3 - M_4 - M_5) / M_1 \text{ (g/g)} \quad (1)$$

**氨氮、硝态氮的测定:**分别称取约 2.00 g 的生物炭样品,加入 40 mL(2 mol/L)的 KCl 溶液,振荡 1 h,过滤。滤液中的铵态氮用靛酚蓝比色分光光度法(上海美谱达可见分光光度计 V-1600)测定,硝态氮用离子色谱法( DIONEX ICS-90)测定。

**水溶性离子:**取 2.00 g 生物炭,用 40 mL 去离子水浸提,震荡 1 h,过滤,分别用离子色谱( DIONEX ICS-90)和 ICP-OES( ICP, Varian Vista Pro, Varian Inc., Palo Alto, CA, USA)测定溶液的阴离子浓度。主要测定离子为 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。

### 1.3 数据分析

所有的测量报告结果都以平均值与标准误差平均值(N=3)表示。试验数据采用 origin 8.0 和 SPSS 17.0 软件进行统计分析。各处理之间的显著性差异采用单因素方差分析法(one-way ANOVA),显著性水平为 0.05。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 温度对生物炭产率、性质的影响

裂解温度从 350 °C 上升到 750 °C,生物炭产率由 62.5% 降低到 23.0%,pH 值从 10.01 上升到 11.90,持水能力随着温度上升而增大,CEC 随温度上升而减小(如表 1 所示)。在不同温度下产生生物炭的电导值范围在 3.74~5.98 ds/m。

表 1 裂解温度对生物炭性质的影响

Table 1 Effect of pyrolytic temperature on EC, pH, CEC and WHC of biochar

生物炭	产率 /%	电导 / (ds/m)	pH	CEC / ( $\mu\text{mol}_c/\text{kg}$ )	持水能力 / (g/g)
B <sub>350</sub>	62.5	5.29 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	10.1 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	128.97 $\pm$ 1.78 <sup>d</sup>	3.14 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>
B <sub>450</sub>	44.5	3.74 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	10.33 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	96.57 $\pm$ 2.22 <sup>b</sup>	3.25 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>
B <sub>550</sub>	35.1	3.77 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	10.54 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	91.22 $\pm$ 3.56 <sup>ab</sup>	4.12 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>
B <sub>650</sub>	28.0	5.42 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	10.77 $\pm$ 0.03 <sup>d</sup>	87.45 $\pm$ 4.45 <sup>a</sup>	4.32 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>
B <sub>750</sub>	23.0	5.98 $\pm$ 0.04 <sup>d</sup>	11.90 $\pm$ 0.04 <sup>e</sup>	103.49 $\pm$ 0.44 <sup>c</sup>	4.52 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>

注:相同字母表示  $P > 0.05$  处理间差异未达到显著性水平,不同字母表示在  $P < 0.05$  下各处理间表现差异显著。

前人研究表明,当裂解温度低于 250 °C 时,裂解反应主要是生物质内部水分的逸出,很少发生有机质的裂解<sup>[13]</sup>;随着裂解温度升高,CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 等裂解气和裂解油逐渐增多并逸出<sup>[14]</sup>,从而导致生物炭产率降低。

不同温度下产出的棉秆生物炭,均呈碱性。随着裂解温度的升高棉秆生物炭 pH 显著升高,与温度呈正相关关系,与温度达到及显著相关关系 ( $P < 0.05$ )。在 350 ~ 650 °C 之间 pH 均匀升高,650 ~ 750 °C 迅速增加。生物质本身含有多种有机酸,随裂解温度的提高而不断分解,矿物成分逐渐增加,从而导致 pH 的升高。这一现象与其他生物质裂解过程中碱度升高现象一致<sup>[15]</sup>。

实验表明高温生产的生物炭比低温生产的生物炭具有更强的持水能力。低温条件下生产的生物炭最大持水量明显低于高温生产的生物炭 ( $P < 0.05$ )。裂解温度影响生物炭表面官能团、空隙度、空隙结构、比表面积<sup>[16-17]</sup>,从而影响其持水能力。

CEC 对于生物炭增加土壤的营养元素吸附能力和改善土壤肥力具有重要的指示作用<sup>[18]</sup>。较高 CEC 的生物炭能够通过生物或者非生物氧化提高

土壤环境的官能团数量<sup>[19]</sup>从而产生对土壤水溶性离子的影响力。生物炭的 CEC 与原料和裂解温度密切相关<sup>[20]</sup>。棉秆生物炭 CEC 在 350 ~ 650 °C 随温度的升高而降低,从 650 ~ 750 °C 表现出升高现象。CEC 降低趋势与 Liu 等的研究结果一致<sup>[21]</sup>。在碳化过程中,生物质酸性官能团在 300 ~ 400 °C 流失最快,400 °C 之后流失速度变慢,总的趋势是随温度升高降低,此变化被一些研究人员认为是造成 CEC 降低的原因<sup>[22]</sup>。然而,另一些学者通过对松木碳化过程的研究发现 CEC 随裂解温度升高而升高<sup>[4-5,23]</sup>。本实验中仅在 750 °C 的高温条件下出现了 CEC 升高的现象。

## 2.2 温度对生物炭化学组成与结构的影响

### 2.2.1 离子含量变化

已有研究表明,不同裂解温度对生物炭中离子的含量影响较大。图 1 所示,不同裂解温度下棉秆生物炭中的主要阳离子: Na<sup>+</sup> 的含量为 1.30 ~ 3.03 g/kg,随温度的变化没有表现出明显的趋势,与温度关系差异不显著 ( $P > 0.05$ ),在 450 °C 含量最低 (1.30 g/kg),在 750 °C 含量最高 (3.02 g/kg); K<sup>+</sup> 含量为 17.94 ~ 27.61 g/kg,从 350 ~ 450 °C 时, K<sup>+</sup>

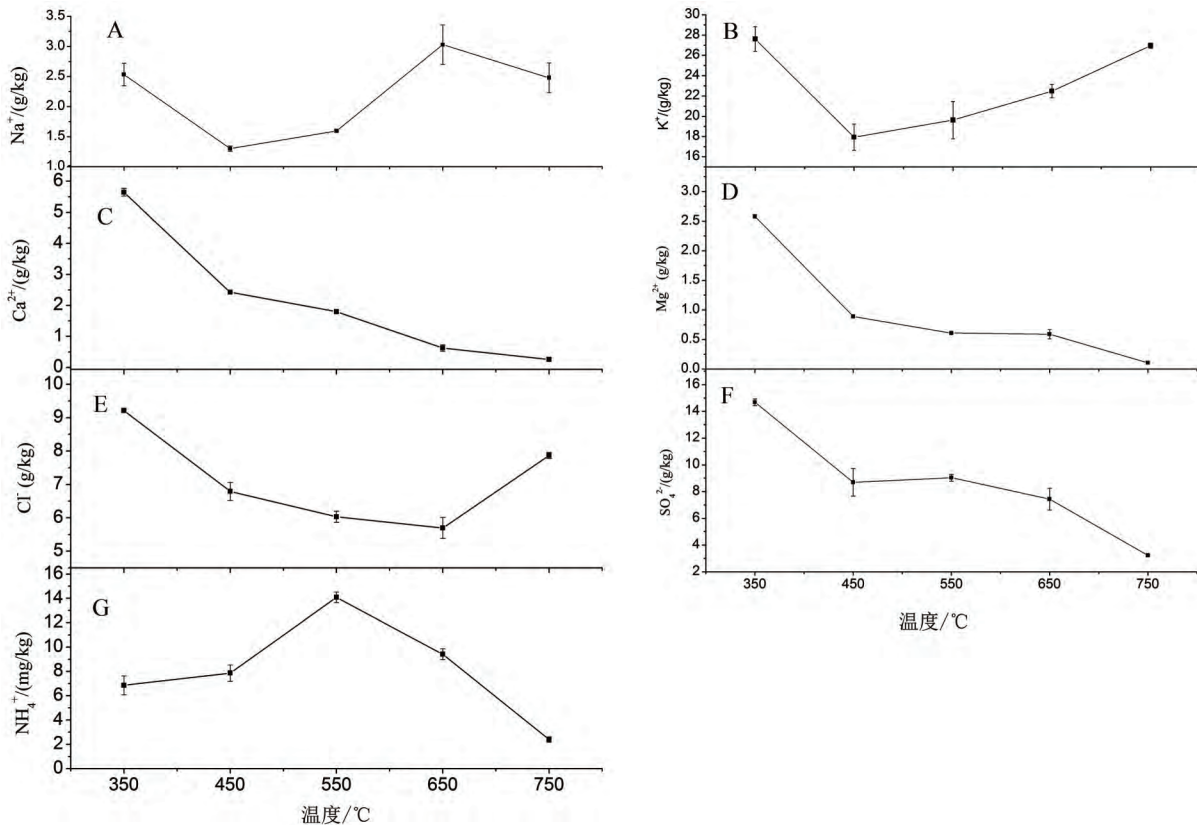


图 1 不同裂解温度下生物炭离子含量变化

Fig. 1 Effect of pyrolytic temperature on ions contents in biochar

含量随温度的增高而逐渐降低,并在 450 °C 时达到最低值,从 450 ~ 750 °C 时其含量却逐渐增加;  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量与裂解温度的关系呈现一致性的变化,均随裂解温度升高而降低,  $\text{Ca}^{2+}$  的含量从 350 °C 时的 5.64 g/kg 降到 750 °C 时的 0.25 g/kg, 与温度呈负相关关系,差异显著 ( $P < 0.05$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  含量也从 350 °C 时的 2.58 g/kg 降到 750 °C 时的 0.11 g/kg, 与温度呈负相关关系,差异显著 ( $P < 0.05$ )。  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量较低,其含量随裂解温度的变化可分为两个阶段,在 350 ~ 550 °C 时含量  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量由 6.85 mg/kg 升高到 14.08 mg/kg, 在 550 ~ 750 °C 其含量由 14.08 mg/kg 降低到 2.40 mg/kg (图 1-G)。不同裂解温度下棉秆生物炭中的主要阴离子:  $\text{Cl}^-$  的含量为 5.70 ~ 9.21 mg/kg,  $\text{SO}_4^{2-}$  的含量为 3.23 ~ 14.68 g/kg, 二者均随碳化温度的升高而降低与温度呈负相关关系,差异显著 ( $P < 0.05$ )。  $\text{NO}_3^-$  的含量未检出。

### 2.2.2 元素组成的变化

元素分析结果显示(表 2) 棉秆生物炭中 C 元素含量比棉秆中炭含量显著的增加,由原料中 42.16% 增加到 66.63%。C/N 元素含量在 550 °C 时含量最高,与前人报导的其他生物质碳化结果一致<sup>[13, 24]</sup>。C/N 值随碳化温度的升高而升高。棉秆生物炭中 H、O 元素含量随温度升高快速下降,而 H/C、O/C 随温度升高而降低。裂解温度在 350 ~ 450 °C 生物炭元素组成的变化最大。这一特征在 Van Krevelen 图上表现突出(图 2)。O/C 被认为是指示生物炭稳定性的指标<sup>[25]</sup>,而 O/C (<0.6) 结合 H/C (<0.4) 能够更好的指示生物炭的稳定性<sup>[26]</sup>。这是因为 H/C、O/C 反映生物炭的芳香性和亲水性大小。由表 2 可看出,碳化温度由 350 ~ 750 °C 生物炭的 H/C、O/C 值逐渐减小,表明棉秆的升温裂解是一个芳香性增强,亲水性减弱的过程<sup>[8]</sup>。灰分随

表 2 不同裂解温度下棉秆生物炭元素含量

Table 2 Elemental concentrations in cotton-straw biochar produced at different temperatures

	N	C	H	S	灰分	O	C/N	O/C	H/C
	1%	1%	1%	1%	1%	1%			
棉秆	1.43	42.16	5.29	0.49	4.49	46.14	29.46	1.09	0.13
B <sub>350</sub>	1.40	55.9	3.84	0.84	13.39	24.63	39.87	0.44	0.07
B <sub>450</sub>	1.57	65.27	3.35	0.84	18.70	10.27	41.52	0.16	0.05
B <sub>550</sub>	1.60	66.63	2.61	0.85	20.91	7.41	41.75	0.11	0.04
B <sub>650</sub>	1.44	63.10	1.98	1.02	27.03	5.43	43.79	0.09	0.03
B <sub>750</sub>	1.44	60.57	1.67	1.3	29.66	5.36	42.06	0.09	0.03

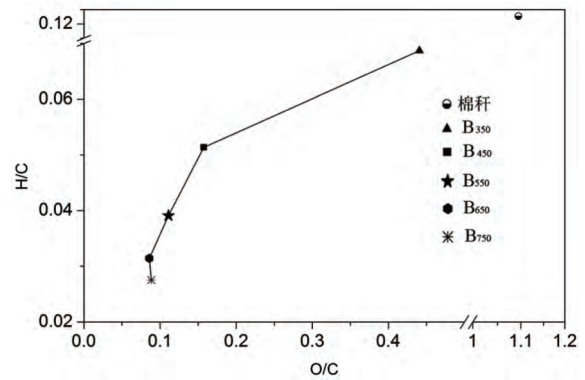


图 2 不同温度条件下生产的棉秆生物炭 Van Krevelen 图  
Fig. 2 Van Krevelen plots of H/C and O/C of cotton-straw biochar produced at different temperatures

碳化温度的提高含量增加。

### 2.3 温度对生物炭应用的影响

如前所述,裂解温度显著影响棉秆生物炭的物理和化学性质,正因为如此,也影响到生物炭的土壤应用效果。高温条件下生产的棉秆生物炭有利于提高土壤碱基饱和,降低可交换铝水平,消耗土壤质子从而提高土壤 pH 值<sup>[27-28]</sup>。这对新疆农业生产是一个不利因素,因为新疆土壤普遍具有较高的 pH 值。中温 550 ~ 650 °C 条件下生产的生物炭具有较低的 CEC,因而不利于提高土壤的保肥能力。生物炭的持水能力随裂解温度的提高而提高,从这一点出发,应提高生物炭的生产温度,这对新疆而言尤其具有重要意义<sup>[29]</sup>。生物炭中离子含量的变化对其应用效果有重要的影响,棉秆生物炭中  $\text{K}^+$  含量最高,有助于为作物提供营养。裂解温度对  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  含量的影响没有明显趋势,这与麦秆、白杨<sup>[30]</sup>和芦竹<sup>[24]</sup>生物炭研究结果一致。针对不同温度生产的生物炭, $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  含量具体应用时需要具体检测以确定是否对土壤植物生长有利。 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  含量随温度升高降低,特别是  $\text{SO}_4^{2-}$  高温下含量较低(750 °C, 3.22 g/kg)。提高温度有利于有助于降低这两种盐渍化离子含量。综合考虑来,750 °C 条件下生产的生物炭,有较高的 CEC 含量和持水能力,同时有能够降低其盐离子含量对于新疆干旱地区风沙土的改良有重要意义。对于水分充足的地区则要考虑低温 350 ~ 450 °C 条件产出的生物炭,因其有低的 pH 和较高的 Ca、Mg 营养含量,同时生物炭产率高,能够降低生物炭利用的成本。

## 3 结论

裂解温度是影响新疆棉秆生物炭的物理和化

学性质的重要因素。随着裂解温度的升高,生物炭的产率和阳离子交换量降低,pH 和持水性能提高。高温条件下生产的生物炭还具有较高的盐离子含量、较高的 K 含量、较高的 C、N、S、C/N、灰分等,而低温条件下生产的生物炭具有较高的 Ca、Mg 含量、

较高的 O/C 和 O/H 值。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  在 550 °C 碳化条件下含量最高。裂解温度对棉秆生物炭理化性质的上述影响会进而影响到生物炭的土壤应用效果,在具体应用中,应针对土壤特点和解决的问题,调控碳化温度,从而达到趋利避害的目的。

## 参 考 文 献

- [1] 曹国良,张小曳,王亚强,等. 中国区域农田秸秆露天焚烧排放量的估算[J]. 科学通报,2007,52(15):1826-1831.
- [2] 陈温福,张伟明,孟军,等. 生物炭应用技术研究[J]. 中国工程科学,2011,13(2):83-89.
- [3] 何绪生,耿余雕,张高. 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] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006, 11(2):395-419.
- [5] Lehmann J, Joseph S. Biochar for environmental management: science and technology[M]. Routledge, 2012.
- [6] 张千峰,孟军,刘居东,等. 热解温度和时间对三种作物残体生物炭 pH 值及碳氮含量的影响[J]. 生态学杂志,2013,32(9):2347-2353.
- [7] 潘萌娇,孙姣,贺强,等. 热解终温和加热速率对棉秆热解生物炭的影响研究[J]. 河北工业大学学报,2014,43(5):60-66.
- [8] 侯建伟,索全义,梁桓,等. 炭化温度对沙蒿生物炭形貌特征和化学性质的影响[J]. 土壤,2014,46(5):814-818.
- [9] Liu Z G, Zhang F S, Wu J Z. Characterization and application of chars produced from pinewood pyrolysis and hydrothermal treatment[J]. Fuel, 2010, 89(2):510-514.
- [10] 张振,秦翠兰,王磊元,等. 棉秆资源利用现状分析[J]. 新疆农机化,2014(5):21-25.
- [11] 韩芹芹,杨跃辉,姜逢清,等. 新疆棉秆循环经济利用的适宜模式探讨[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(10):172-178.
- [12] Mimmo T, Panzacchi P, Baratieri M, et al. Effect of pyrolysis temperature on miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) biochar physical, chemical and functional properties[J]. Biomass and Bioenergy, 2014, 62:149-157.
- [13] Sun Y N, Gao B, Yao Y, et al. Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties[J]. Chemical Engineering Journal, 2014, 240:574-578.
- [14] Antal M J, Grønli M. The art, science, and technology of charcoal production[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2003, 42(8):1619-1640.
- [15] Chun Y, Sheng G, Chiou C T, et al. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars[J]. Environmental Science & Technology, 2004, 38(17):4649-4655.
- [16] Kinney T J, Masiello C A, Dugan B, et al. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures[J]. Biomass & Bioenergy, 2012, 41:34-43.
- [17] Zhang J, You C. Water holding capacity and absorption properties of wood chars[J]. Energy & Fuels, 2013, 27(5):2643-2648.
- [18] Brewer C E, Unger R, Schmidt-Rohr K, et al. Criteria to select biochars for field studies based on biochar chemical properties[J]. Bioenergy Research, 2011, 4(4):312-323.
- [19] Cheng C H, Lehmann J, Thies J E, et al. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes[J]. Organic Geochemistry, 2006, 37(11):1477-1488.
- [20] Gaskin J, Steiner C, Harris K, et al. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use[J]. Trans. Asabe, 2008, 51(6):2061-2069.
- [21] Liu X, Zhang Y, Li Z F, et al. Characterization of corn-cob-derived biochar and pyrolysis kinetics in comparison with corn stalk and sawdust[J]. Bioresource Technology, 2014, 170:76-82.
- [22] Guo Y, and D. A. Rockstraw. Activated carbons prepared from rice hull by one step phosphoric acid activation. [J]. Microporous Mesoporous Mat, 2007, 100:12-19.
- [23] 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.
- [24] Zheng H, Wang Z Y, Deng X, et al. Characteristics and nutrient values of biochars produced from giant reed at different temperatures[J]. Bioresource Technology, 2013, 130:463-471.
- [25] Spokas K A. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molar ratios[J]. Carbon Management, 2010, 1(2):289-303.
- [26] Schimmelpfennig S, Glaser B. One step forward toward characterization: some important material properties to distinguish biochars[J]. Journal of

- Environmental Quality ,2012 ,41( 4) :1001–1013.
- [27] Van Zwieten L , 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.
- [28] 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.
- [29] 王荣梅 , 杨放 , 许亮 , 等. 生物炭在新疆棉田的应用效果研究 [J]. 地球与环境 , 2014 ,42( 6) :757–763.
- [30] Kloss S , Zehetner F , Dellantonio A , *et al.* Characterization of slow pyrolysis biochars: Effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties [J]. Journal of Environmental Quality ,2012 ,41( 4) :990–1000.

## Effect of Pyrolysis Temperature on Physicochemical Properties of Xinjiang Cotton-straw Biochar

HE Yunyong<sup>1 2</sup> , LEE Xinqing<sup>1</sup> , YANG Fang<sup>1 2</sup> , CHENG Hongguang<sup>1</sup> ,  
ZHANG Like<sup>1 2</sup> , WANG Qian<sup>1 2</sup> , HUANG Yimin<sup>1 2</sup> , LI Yang<sup>1 2</sup>

(1. State Key Laboratory of Environment Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Science ,  
Guiyang 550081 , China; 2. University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

**Abstract:** Pyrolysis temperature exerts great influence on physicochemical properties of biochar pyrolytic products , further on their field applications. Generally , cotton stalks are main agricultural biomass resources in arid areas , especially in the Xinjiang Autonomous Region , China and the application of biochar can overcome the drawbacks of the current utilization of straw. However , knowledge on cotton biochar physicochemical properties and their variation were seldom reported. In this study , effects of various pyrolysis temperatures on physicochemical properties of Xinjiang cotton straw biochar were investigated. Results show that , with increasing pyrolysis temperature , all of the yield , cation exchange capacity( CEC) , H/C , and O/C ratios of biochar decrease , whereas the pH , electrical conductivity and water holding capacity increase; there were neither significant positive nor negative correlations of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> contents with temperature , respectively , meanwhile , contents of saline ions such as Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> , and nutritional elements such as Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> decrease with increasing pyrolysis temperature; while contents of carbon , nitrogen , sulfur , C/N ratio and ash increase with increasing pyrolysis temperature; the highest content of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N was detected at B<sub>550</sub>. All of these results indicate that biochar pyrolysis temperature should be properly adjusted considering the characteristics of the soil.

**Key words:** biochar; pyrolysis temperature; physicochemical property; carbon sequestration