

生物炭中溶解性有机质的光谱分析

李飞跃¹, 桂向阳², 许吉宏¹, 马吉然¹, 文正午¹,
范行军¹, 蔡永兵¹, 汪建飞^{1*}

1. 安徽科技学院资源与环境学院, 安徽 凤阳 233100
2. 上海交通大学中英国际低碳学院, 上海 201306

摘要 稻壳和木屑是农林业废物处理与利用的重点, 将稻壳和木屑制备成生物炭并用于环境污染与防治成为研究热点, 但对稻壳和木屑生物炭中溶解性有机质(DOM)的研究还较少。以稻壳和木屑为生物质原料, 在不同温度(200~700 °C)下制备稻壳和木屑生物炭, 利用紫外-可见光谱、三维荧光光谱和红外光谱技术对生物炭 DOM 的光谱特征进行分析, 研究不同热解温度对生物炭 DOM 光谱特征的影响。结果表明, 随着热解温度升高, 稻壳和木屑生物炭 DOM 中溶解性有机碳(DOC)浓度逐渐降低, 且木屑生物炭的 DOC 浓度远高于相同温度下的稻壳生物炭。稻壳和木屑生物炭 DOM 的紫外吸收均随着波长的增大而逐渐降低, 且随着热解温度升高, 稻壳生物炭 DOM 的吸光度先增加后降低, 而木屑生物炭 DOM 则持续降低。紫外光谱的特征参数值(SUVA₂₅₄和 SUVA₂₆₀)随着热解温度升高变化趋势相同, 且在相同温度下, 稻壳生物炭 DOM 的特征参数值均高于木屑。三维荧光光谱表明稻壳和木屑生物炭 DOM 的荧光峰主要出现在 $\lambda_{ex/em} = 300 \sim 315/400 \sim 425$ nm 和 $\lambda_{ex/em} = 210 \sim 245/380 \sim 435$ nm 波段, 分别代表类腐殖质荧光峰和富里酸荧光峰, 可用来表示生物炭 DOM 的腐殖化程度和疏水组分含量。随温度升高, 稻壳生物炭 DOM 的腐殖化程度和疏水组分含量先升高后降低, 而木屑生物炭 DOM 则逐渐降低。三维荧光参数表明稻壳和木屑生物炭 DOM 的自生源指标(autochthonous index, BIX)不强, 生物可利用性和类蛋白比例较低; 随着温度升高稻壳生物炭 DOM 腐殖化指数(humification index, HIX)先增加后降低, 而木屑生物炭 DOM 的 HIX 则逐渐降低。此外, 红外光谱结果表明, 随着热解温度的升高, 稻壳和木屑生物炭 DOM 中—OH 逐渐降低, —CH₂、—CH₃ 变化不明显, 芳环 C=C, C—H 增强, 芳香化程度增强。

关键词 温度; 生物炭; 溶解性有机质; 光谱分析

中图分类号: O657.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)11-3475-07

引言

溶解性有机质(dissolved organic matters, DOM)指能够溶于酸、碱和水溶液的有机物, 是自然界重要活性物质之一, 在环境中扮演着十分重要的角色^[1]。例如, DOM 具有多种活性官能团(羧基、羟基和酯类等), 在土壤环境中会对重金属和有机污染物的迁移转化产生一定影响^[2]; 同时, DOM 还是微生物的物质能量来源, 对土壤中微生物的种群分布有着重要影响^[3]。DOM 还可以与水体污染物产生络合作用, 影响污染物的迁移并调节水体酸碱度^[4]; 此外, 其对全球碳

循环、能量输入及物质转化都起着不可或缺的作用^[5-6]。

生物炭的溶解性有机质组分是生物质在高温与惰性气体共同作用条件下产生的, 其稳定性弱, 但却有很强的活性^[7]。与土壤和水中的 DOM 类似, 生物炭 DOM 中同样含有大量的活性官能团^[8], 能够影响污染物在环境中的迁移转化。

生物质原材料和热解温度是影响生物炭基本理化性质最重要的参数^[9], 因而也会影响其 DOM 含量与结构特征。稻壳和木屑分别作为农、林业的生物质废物代表, 越来越多的学者将其转化为生物炭并应用到环境修复和污染治理中^[10]。尽管已有学者研究了生物炭对土壤 DOM 的影响^[11], 也有学

收稿日期: 2018-09-27, 修订日期: 2019-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(21607002, 41705107), 安徽省自然科学基金项目(1708085QD85, 1808085QD110), 国家重点研发计划项目(2017YFD0200808), 安徽省科技计划项目(1704e1002238), 安徽科技学院稳定人才项目资助

作者简介: 李飞跃, 1983 年生, 安徽科技学院资源与环境学院副教授 e-mail: lifeiyue0523@163.com

* 通讯联系人 e-mail: jykjwf@sina.com

者对生物炭 DOM 的特性进行了研究^[8, 12], 但关于不同温度下制备生物炭中 DOM 的光谱分析仍缺乏系统的研究, 亟需开展相关方面的研究。

为此, 本研究选取稻壳和木屑 2 种生物质原料, 在 200~700 °C 下制备一系列的生物炭。采用紫外-可见光光谱、三维荧光光谱和红外光谱法^[13-14]对稻壳和木屑生物炭的 DOM 结构进行表征, 为全面评估生物炭中 DOM 的环境效应, 提供一定的理论依据。

1 实验部分

1.1 生物炭的制备

实验所采用的稻壳和木屑生物质原料分别取自安徽省凤阳县某粮食加工厂和木材加工厂, 经洗净、干燥和粉碎后过 80 目筛备用。称取一定质量的生物质原料, 放入自制的不锈钢热解装置内, 通入高纯氮气使装置内处于厌氧环境, 以 20 °C · min⁻¹ 的升温速率加热, 达到设定温度后(200, 300, 400, 500, 600 和 700 °C)保持 4 h^[15], 然后停止加热, 自然冷却后装置内残留的黑色固体粉末即为生物炭, 分别记为 DK200~700 和 MX200~700(DK 和 MX 分别代表稻壳和木屑, 数字代表热解温度)。将生物炭研磨后过 100 目筛, 混匀

后装袋备用。

1.2 DOM 的提取和测定

生物炭与超纯水按照 1:100(m/v)混合后放入三角瓶内, 密封后置于恒温摇床振荡器中, 在 25 °C, 200 r · min⁻¹ 的条件下震荡 24 h, 过 0.45 μm 滤膜, 将 DOM 提取液盛于棕色瓶中 4 °C 保存待测。DOM 提取液中溶解性有机碳(dissolved organic carbon, DOC)浓度使用 TOC 分析仪(岛津 TOC-L CPH)测定。

1.3 光谱性质的测定

DOM 提取液的吸光度通过紫外-可见光光度计(岛津 UV-2600)测定, 以超纯水为空白, 用 10 mm 的石英比色皿在 200~600 nm 范围内扫描, 波段间隔为 1 nm, 测定结果经 DOC 浓度校正后绘图。DOM 提取液的三维荧光光谱(EEM)采用三维荧光光谱仪(日立 F-4600)进行测定, 以超纯水为空白, 扫描速度为 30 000 nm · min⁻¹; 间隔时间为 0.1 s; 激发波长(Ex)扫描范围: 200~400 nm(宽带 5 nm), 发射波长(Em)扫描范围: 280~520 nm(宽带 5 nm)。相应参数选择与定义见表 1。生物炭 DOM 提取液经冷冻干燥后与溴化钾按质量比 1:200 研磨均匀后压片, 再置于傅里叶变换红外光谱仪(赛默飞 Nicolet is10)中于 500~4 000 cm⁻¹ 波段内扫描。

表 1 紫外-可见光谱和荧光光谱所选参数描述

Table 1 The selected parameters of UV-Vis and fluorescence spectra

光谱参数	定义	相关描述
SUVA ₂₅₄	单位 DOC 浓度在波长 254 nm 处的吸收系数	表示 DOM 腐殖化程度 ^[9]
SUVA ₂₆₀	单位 DOC 浓度在波长 260 nm 处的吸收系数	表征 DOM 疏水性组分含量 ^[16]
自生源指标(BIX)	Ex/Em(310/380 nm)与 Ex/Em(310/430 nm)荧光强度之比	指示 DOM 自生源特征强弱 ^[13]
腐殖化指数(HIX)	Ex/Em(254/435~480 nm)与 Ex/Em(254/300~345 nm)积分之比	表征 DOM 腐殖化程度 ^[16]

2 结果与讨论

2.1 DOC 浓度

不同温度制备生物炭 DOM 中 DOC 浓度变化如图 1 所示, 随着热解温度升高, 稻壳生物炭和木屑生物炭 DOC 浓度变化趋势相同。即 200~600 °C, 稻壳和木屑生物炭的 DOC 浓度逐渐降低, 与 200 °C 的稻壳和木屑生物炭 DOC 浓度相比, 600 °C 下制备的稻壳和木屑生物炭的 DOC 浓度分别下降 95.9% 和 70.6%, 这与 Wei 等^[8]的研究结果一致; 此外, 木屑生物炭的 DOC 浓度均高于相同温度条件下制备的稻壳生物炭, 最高达到其含量的 40 倍。当热解温度高于 600 °C 时, 生物炭中 DOC 浓度反而有所增加, 这可能是由于随着热解温度升高, 生物质中的挥发分逐渐减少, 导致残留在生物炭中的 DOC 减少, 而当温度进一步提高后, 加剧生物炭进一步裂解, 导致 DOC 含量增加^[15]。可见, 生物质原料和热解温度决定生物炭 DOC 含量。

2.2 紫外-可见光谱分析

紫外可见光吸收光谱可用来表征生物炭的 DOM 含量及其在水环境中的组成^[14]。不同热解温度制备生物炭的 DOM

光谱图如图 2 所示。两类生物炭 DOM 具有类似的光谱变化趋势, 即吸光度随波长的增加而减小, 在 200~600 nm 范围内, DOM 的吸光度呈指数形式递减, 之后趋于平缓(MX200 除外)。此外, 随着热解温度升高, 稻壳生物炭 DOM 的吸光度先增加后降低, 而木屑生物炭 DOM 的吸光度持续降低, 这可能是由生物质原料不同所引起。

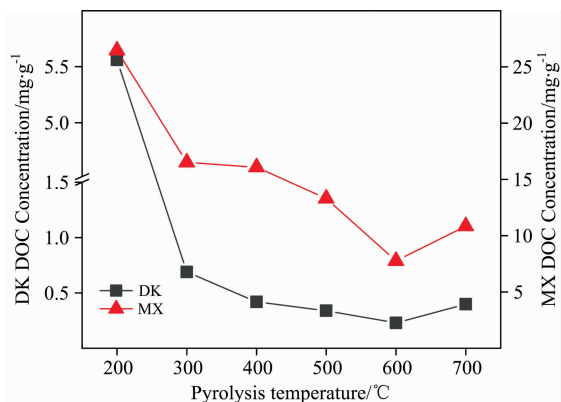


图 1 生物炭中 DOC 浓度

Fig. 1 DOC content in biochars

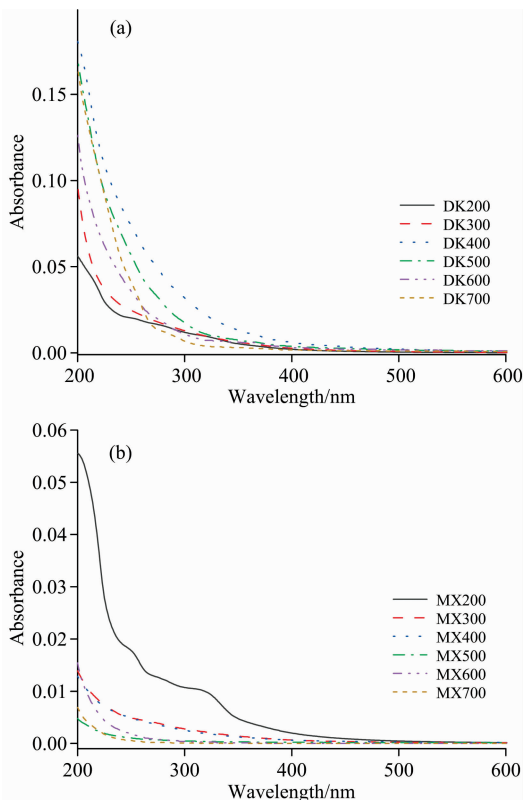


图 2 稻壳 (a) 和木屑 (b) 生物炭 DOM 的紫外-可见吸收光谱

Fig. 2 UV-Vis absorption spectra of DOM from DK (a) and MX (b) biochar

SUVA₂₅₄ 可作为生物炭 DOM 中芳香族含量的判定指标, 与芳烃 C=C, C=O 及类腐殖质有机物大分子含量有关, 其值越大, 表明 DOM 中腐殖质酸类含量高, 腐殖化程度高, 芳香性强^[9]; SUVA₂₆₀ 可用来表示生物炭 DOM 中疏水性组分的含量, 其值越大, DOM 中所含的疏水组分比例越高, 且 DOM 参与污染物迁移转化的活性就会越高^[16]。如图 3 所示, 两类生物炭 DOM 的 SUVA₂₅₄ 和 SUVA₂₆₀ 的变化趋势基本相似。即随着热解温度的升高, 稻壳生物炭 DOM 的 SUVA₂₅₄ 和 SUVA₂₆₀ 值先逐渐升高并于 400 °C 达到最大, 然后逐渐降低; 而木屑生物炭 DOM 的 SUVA₂₅₄ 和 SUVA₂₆₀ 值从 200 °C 开始逐渐降低。表明稻壳和木屑分别在 400 和 200 °C 制备生物炭 DOM 的腐殖酸含量和疏水组分比例最高, 芳香化程度最强。此外, 在相同温度下, 稻壳生物炭 DOM 的特征参数值均高于木屑, 表明稻壳生物炭 DOM 的腐殖化、芳香化程度和疏水组分比例均高于木屑生物炭 DOM。

2.3 荧光光谱分析

稻壳和木屑生物炭 DOM 的 EEM 数据如图 4 和表 2 所示。这两类生物炭 DOM 中发现了 3 个主要的特征峰(A 峰、B 峰和 C 峰), 其中 A 峰代表类腐殖质荧光峰; B 峰为富里酸荧光峰; C 峰是类蛋白荧光峰^[17]。此外, Chen 等^[18]研究表明 A 峰和 B 峰还可分别代表生物炭 DOM 中的亲水和疏水

组分。本文中 A 峰仅出现在低温生物炭 DOM 中, B 峰几乎出现在所有的生物炭 DOM 中(MX700 除外), C 峰仅出现在 300 °C 热解生物炭的 DOM 中。同时, 随着热解温度升高, 稻壳生物炭和木屑生物炭 DOM 的 A 峰逐渐减弱, 分别于 400 和 300 °C 以后消失。然而, 稻壳生物炭 DOM 的 B 峰荧光强度则随着热解温度升高而升高, 在 400 °C 时达到最大, 之后逐渐降低至稳定, 而木屑生物炭 DOM 的 B 峰荧光强度随温度升高而降低直至低于检测限。可见, 稻壳生物炭的腐殖化程度和疏水组分含量随温度升高不断增高, 并于 400 °C 达到最大, 而木屑生物炭的腐殖化程度和疏水组分含量在 200 °C 最大, 之后逐渐降低, 这与生物炭 DOM 紫外可见光谱特征分析结论相一致(见 2.2 节)。

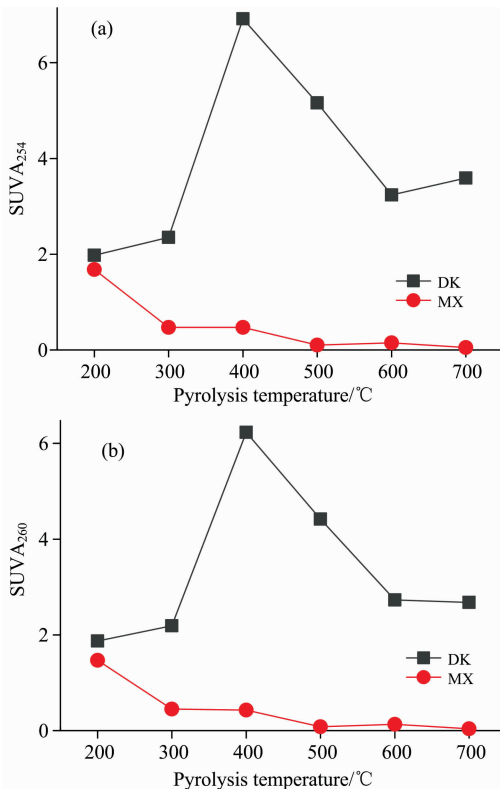


图 3 生物炭 DOM 的紫外-可见光谱特征参数

(a): SUVA₂₅₄; (b): SUVA₂₆₀

Fig. 3 UV-Vis spectral parameter of DOM from biochars

(a): SUVA₂₅₄; (b): SUVA₂₆₀

稻壳和木屑生物炭 DOM 的自生源指标(BIX)和腐殖化指数(HIX)值如图 5 所示。BIX 可以表征 DOM 的自生源特征, 同时也反映了类蛋白比例及生物可利用性的高低。稻壳和木屑生物炭 DOM(MX200 除外)的 BIX 均小于 1[图 5 (a)], 表明这两类生物炭的 DOM 自生源指标不强, 生物可利用性和类蛋白比例较低^[13], 这和 EEM(图 4)中类蛋白峰不明显的结论相一致。同时, 稻壳生物炭 DOM 的 BIX 随着热解温度增加, 先降低再逐渐增大并于 500 °C 后趋于平衡, 而木屑生物炭 DOM 的 BIX 随着热解温度增加呈逐渐降低的趋势(MX500 除外)。

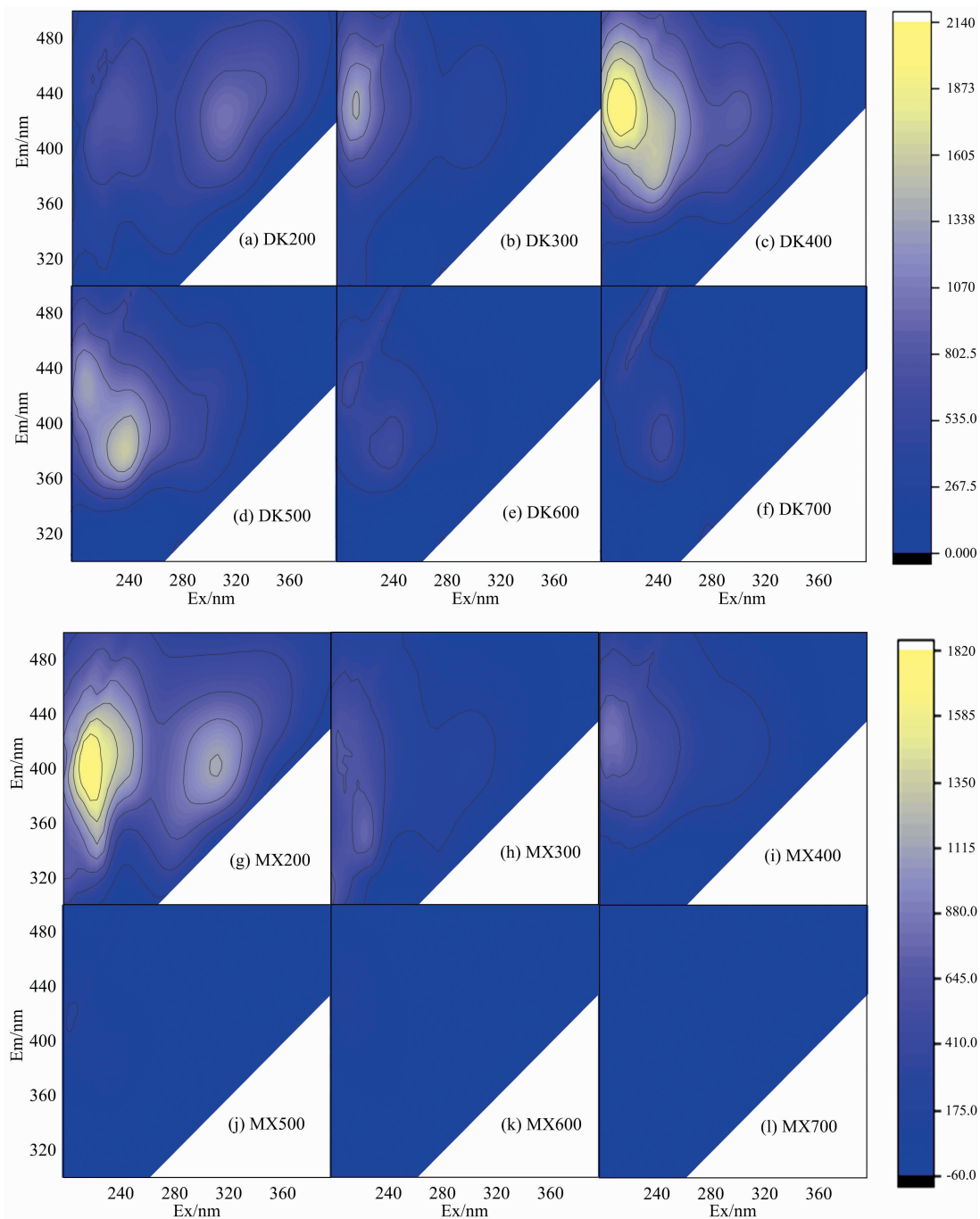


图 4 生物炭 DOM 的三维荧光光谱图

Fig. 4 EEM of DOM from biochars

表 2 三维荧光特征峰位置与强度

Table 2 EEM characteristic peak position and intensity

种类	Peak A/nm	荧光强度	Peak B/nm	荧光强度	Peak C/nm	荧光强度
DK200	315/425	1030.0	235/425	814.8	—	—
DK300	305/425	402.9	215/430	1 396.0	215/350	457.8
DK400	300/425	872.0	215/435	2 089.0	—	—
DK500	—	—	240/380	1 600.0	—	—
DK600	—	—	240/380	628.1	—	—
DK700	—	—	245/385	628.6	—	—

续表 2

MX200	315/400	1 147.0	220/400	1 896.0	—	—
MX300	300/410	217.0	215/385	639.2	225/350	757.2
MX400	—	—	210/425	836.7	—	—
MX500	—	—	210/410	152.8	—	—
MX600	—	—	215/435	151.5	—	—
MX700	—	—	—	—	—	—

注：—表示低于检测限

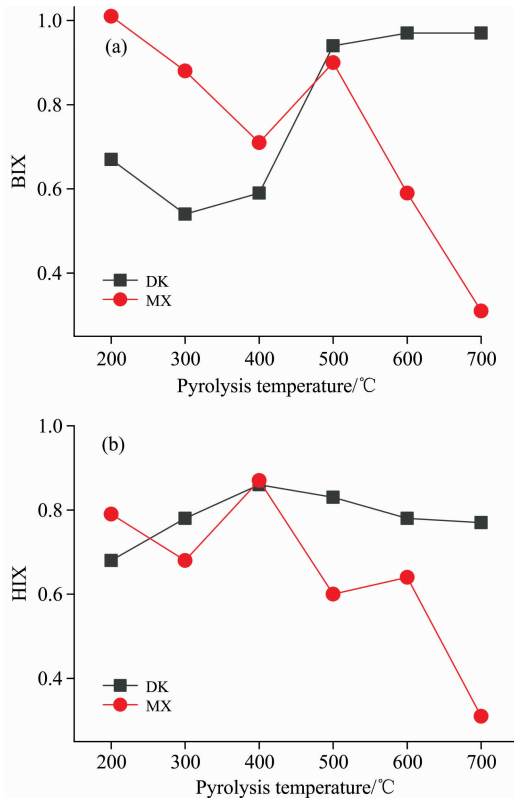


图 5 DOM 的自生源指标 (a) 与腐殖化指数 (b)

Fig. 5 Autochthonous index (a) and humification index (b) of DOM

HIX 可用来反映生物炭 DOM 的腐殖化程度, HIX 值越高表明腐殖化程度越高, DOM 的结构越复杂^[16]。稻壳生物炭 DOM 的 HIX 随着热解温度增加先增加, 于 400 °C 达到最大, 之后逐渐降低, 表明该生物炭 DOM 在 400 °C 时腐殖化程度最大; 而木屑生物炭 DOM 的 HIX 则随着热解温度升高 (MX400 除外), 整体呈现降低趋势, 这与前文中紫外及三维荧光的分析结果相一致。

2.4 红外光谱分析

稻壳和木屑生物炭 DOM 的红外光谱如图 6 所示, 两类生物炭 DOM 所含有主要官能团及其变化趋势相类似。3 430 和 3 380 cm^{-1} 处为醇酚羟基或溶解性蛋白质中—OH 的伸缩振动, 随着热解温度的升高, 生物炭 DOM 中的羟基峰降低 (图 6), 其原因可能是生物炭在热解过程中会伴随着结合水的脱离, 导致羟基峰下降, 进而使得其 DOM 溶液中羟基峰也降低^[19]。2 940 和 2 920 cm^{-1} 处为脂肪族—CH₂ 烷

烃的反对称伸缩^[20], 该官能团随生物炭热解温度升高变化不明显。1 600~1 700 cm^{-1} 处的芳香烃 C=C 拉伸以及 900~680 cm^{-1} 波段的 C—H 伸缩振动, 该官能团随热解温度升高而增强, 表明生物炭 DOM 的芳香化程度增强。1 400~1 420 cm^{-1} 波段内的吸收峰为 CH₂ 和 CH₃ 官能团的振动, 代表了蛋白质和脂类物质的存在^[21], 本文中该峰强度较低, 这与 EEM (图 4) 中部分生物炭 DOM 未检测到蛋白类物质的结果相一致。1 250~1 080 cm^{-1} 波段的吸收峰为 C—O—C 和 C—O—P 的伸缩振动^[21], 代表了多糖类和磷酸盐类物质的存在, 该波段中稻壳生物炭 DOM 在 400 °C 的吸收最强, 而木屑生物炭 DOM 在 200 °C 的吸收最强。

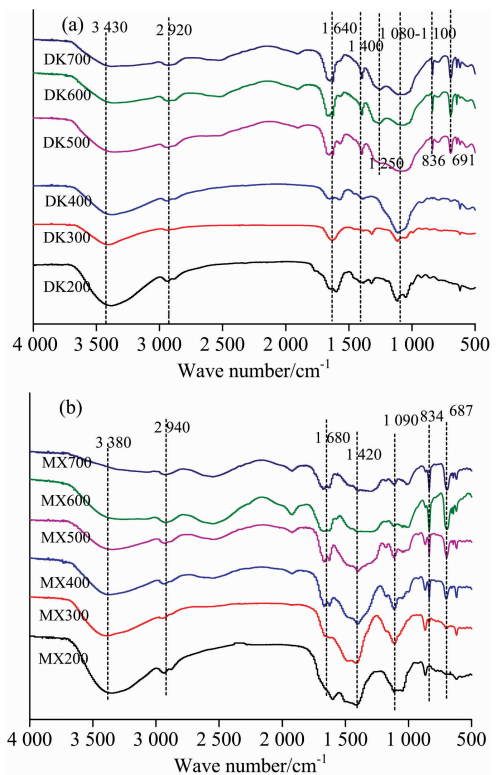


图 6 稻壳生物炭 (a) 和木屑生物炭 (b) DOM 的红外光谱图

Fig. 6 FTIR of DOM from rice husk biochar (a) and sawdust biochar (b)

3 结论

(1) 稻壳和木屑生物炭的 DOC 浓度随着热解温度升高逐渐降低, 此外, 木屑生物炭的 DOC 浓度均高于相同温度下

稻壳生物炭 DOC 浓度。

(2) 稻壳和木屑生物炭 DOM 的紫外特征参数 $SUVA_{254}$ 和 $SUVA_{260}$ 的变化一致, 稻壳生物炭 DOM 的腐殖化、芳香化程度($SUVA_{254}$)和疏水组分比例($SUVA_{260}$)均高于相同温度下木屑生物炭 DOM。

(3) 稻壳和木屑生物炭 DOM 均存在类腐殖质、富里酸和

类蛋白特征峰。随温度升高, 稻壳和木屑生物炭 DOM 自生源指标(BIX)均不强; 稻壳生物炭 HIX 先增加后降低, 而木屑的则逐渐降低。

(4) 稻壳和木屑生物炭 DOM 的—OH 随温度升高逐渐降低; C=C 和 C—H 振动增强, 芳香结构增加。

References

- [1] Barker J D, Dubnick A, Lyons W B, et al. Arctic Antarctic & Alpine Research, 2013, 45(3): 305.
- [2] Huang M, Li Z, Huang B, et al. Journal of Hazardous Materials, 2018, 344: 539.
- [3] Deenik J L, McClellan T, Uehara G, et al. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74(4): 1259.
- [4] DI Xiao-wei, PENG Shu-long, LIU Jun-xin, et al(狄晓威, 彭淑龙, 刘俊新, 等). Acta Scientiae Circumstantiae(环境科学学报), 2012, 32(9): 2140.
- [5] LI Fei-yue, LIANG Yuan, WANG Jian-fei, et al(李飞跃, 梁媛, 汪建飞, 等). Journal of Nuclear Agricultural Sciences(核农学报), 2013, 27(5): 681.
- [6] LI Fei-yue, WANG Jian-fei(李飞跃, 汪建飞). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2013, 29(14): 1.
- [7] Keiluweit M, Nico P S, Johnson M G, et al. Environmental Science & Technology, 2010, 44(4): 1247.
- [8] Wei J, Tu C, Yuan G, et al. Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology, 2019, 103: 169.
- [9] Tang J, Li X, Luo Y, et al. Chemosphere, 2016, 152: 399.
- [10] Zhao L, Cao X, Wang Q, et al. Journal of Environmental Quality, 2013, 42(2): 545.
- [11] Zhang A, Zhou X, Li M, et al. Chemosphere, 2017, 186(1): 986.
- [12] Jamieson T, Sager E, Guéguen C. Chemosphere, 2014, 103(5): 197.
- [13] LI Shuai-dong, JIANG Quan-liang, LI Ye, et al(李帅东, 姜泉良, 黎焯, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2017, 37(5): 1448.
- [14] Liu Shasha, Zhu Yuanrong, Liu Leizhen, et al. Environmental Pollution, 2018, 234: 726.
- [15] LI Fei-yue, WANG Jian-fei, XIE Yue, et al(李飞跃, 汪建飞, 谢越, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2015, 31(4): 266.
- [16] WANG Qi-lei, JIANG Tao, ZHAO Zheng, et al(王齐磊, 江韬, 赵铮, 等). Environmental Sciences(环境科学), 2015, 36(3): 879.
- [17] Li G, Khan S, Ibrahim M, et al. Journal of Hazardous Materials, 2018, 348(20): 100.
- [18] Chen W, Westerhoff P, Leenheer J A, et al. Environmental Science & Technology, 2003, 37(24): 5701.
- [19] Xu Y, Liu Y, Liu S, et al. Environ. Sci. Pollut. Res., 2016, 23(23): 23606.
- [20] Yang H, Yan R, Chen H, et al. Fuel, 2007, 86(12): 1781.
- [21] WANG Jia-qin, LI Wei-hua, SHEN Hui-yan, et al(王佳琴, 李卫华, 申慧彦, 等). Environmental Science & Technology(环境科学与技术), 2018, 41(1): 71.

Spectral Analysis of Dissolved Organic Matter from Biochar

LI Fei-yue¹, GUI Xiang-yang², XU Ji-hong¹, MA Ji-ran¹, WEN Zheng-wu¹, FAN Xing-jun¹, CAI Yong-bing¹, WANG Jian-fei^{1*}

1. College of Resource and Environments, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China

2. China-UK Low Carbon College, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 201306, China

Abstract Rice husk and sawdust are the focus of agricultural and forestry waste treatment and utilization. It has become a hot topic of research to make rice husk and sawdust into biochar and use it in environmental pollution and prevention, but there are little studies of dissolved organic matters in rice husk and sawdust biochar. Rice husk and sawdust biochars were prepared under different temperatures from 200 to 700 °C. The characteristics of DOM from the biochars were analyzed by UV-Vis spectroscopy, three-dimensional fluorescence spectroscopy and infrared spectroscopy, in order to find the influence of different pyrolysis temperature on biochar DOM. The results showed that DOC concentration in rice husk and sawdust biochar decreased with the increase of pyrolysis temperature, and the DOC concentration in sawdust biochar was much higher than that in rice husk biochar at the same temperature. The UV-Vis spectrum curve of the biochar DOM of rice husk and sawdust gradually decreased with the increase of wavelength, and the absorbance of biochar DOM of rice husk first increased and then decreased with the increase of pyrolysis temperature, while the biochar DOM of sawdust continued to decrease. At the same time, the ultraviolet characteristic parameters ($SUVA_{254}$ and $SUVA_{260}$) of DOM from rice husk and sawdust biochar had the same changing trend with the increase of pyrolysis temperature, and the parameters of rice husk biochar DOM were higher than those of sawdust DOM at the same temperature. Three dimensional fluorescence spectra showed that the fluorescence peaks of rice husk and sawdust biochar DOM were mainly in the bands of $\lambda_{ex/em} = 300 \sim 315/400 \sim 425$ and $\lambda_{ex/em} = 210 \sim 245/380 \sim 435$, respectively representing humic and fulvic acid fluorescence peaks, which could be used to represent humic degree and hydrophobic component content of biochar DOM. With the increase of temperature, the humation degree and hydrophobic component content of the biochar DOM of rice husk first increased and then decreased, while the biochar DOM of sawdust gradually decreased. Moreover, the autochthonous index (BIX) of those DOM was not strong, indicating that the bioavailability and protein-like ratio of those DOM were low. The humification index (HIX) of DOM from rice husk biochar increased first and then decreased with the increase of temperature, while that of sawdust decreased gradually. In addition, the infrared spectrum results showed that, with the increase of pyrolysis temperature, the content of —OH in DOM of rice husk and sawdust biochar decreased gradually, the —CH₂ and —CH₃ did not change significantly, the aromatic ring C=C, C—H was enhanced, and the degree of aromatization was enhanced.

Keywords Temperature; Biochar; Dissolved organic matter; Spectral analysis

(Received Sep. 27, 2018; accepted Jan. 12, 2019)

* Corresponding author