

王冰, 赵闪闪, 秦治家, 等. 生物质炭对黑土吸附-解吸硝态氮性能的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 115–121.

WANG Bing, ZHAO Shan-shan, QIN Zhi-jia, et al. Effect of biochar on adsorption-desorption characteristics of nitrate nitrogen in black soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(1): 115–121.

生物质炭对黑土吸附-解吸硝态氮性能的影响

王冰^{1,2}, 赵闪闪^{1,2}, 秦治家³, 高强^{1,2}, 娄玉杰⁴, 刘淑霞^{1,2*}

(1.吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118; 2.吉林省商品粮基地土壤资源可持续利用重点实验室, 长春 130118; 3.吉林省东辽县足民农业站, 吉林 东辽 136615; 4.吉林农业大学动物科技学院, 长春 130118)

摘要:为了探讨生物质炭对黑土吸附-解吸硝态氮性能的影响,减少黑土中硝态氮的淋失、提高氮肥利用率以及为农业废弃物资源化利用提供理论依据,采用培养试验,应用 Langmuir 方程和 Freundlich 方程,研究了添加不同来源(玉米秸秆、稻壳、松木)和不同添加比例(0.6%、1.2%、3.6%、6%)生物质炭对黑土中硝态氮(NO_3^- -N)的吸附和解吸特征。结果表明,施用生物质炭可增加黑土对 NO_3^- -N 的吸附量,且三种生物质炭的添加比例为 3.6% 时,土壤对 NO_3^- -N 的吸附量最大;施用玉米秸秆生物质炭的黑土对 NO_3^- -N 的吸附量最大(实际最大吸附量为 $0.929 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),施用松木生物质炭的黑土对 NO_3^- -N 的吸附量最小(实际最大吸附量为 $0.578 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。施用生物质炭可降低黑土对 NO_3^- -N 的解吸率,且三种生物质炭的添加比例为 3.6% 时,土壤对 NO_3^- -N 的解吸率最低;添加玉米秸秆生物质炭的黑土对 NO_3^- -N 的解吸率最低,添加松木生物质炭的黑土对 NO_3^- -N 的解吸率最高。不同生物质炭对 NO_3^- -N 的吸附能力表现为玉米秸秆>稻壳>松木;对其解吸能力表现为玉米秸秆<稻壳<松木。生物质炭及添加生物质炭的黑土对 NO_3^- -N 的吸附过程符合 Langmuir 方程。

关键词:玉米秸秆生物质炭;稻壳生物质炭;松木生物质炭;硝态氮;吸附;解吸

中图分类号:X712 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2016)01-0115-07 **doi:**10.11654/jaes.2016.01.016

Effect of biochar on adsorption-desorption characteristics of nitrate nitrogen in black soil

WANG Bing^{1,2}, ZHAO Shan-shan^{1,2}, QIN Zhi-jia³, GAO Qiang^{1,2}, LOU Yu-jie⁴, LIU Shu-xia^{1,2*}

(1.College of Resources and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2.Key Laboratory of Soil Resource Sustainable Utilization for Jilin Province Commodity Grain Bases, Changchun 130118, China; 3.Zu Min Agriculture Stands of Dongliao County, Jilin Province, Dongliao 136615, China; 4.College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: It is well documented that biochar can adsorb nitrate nitrogen (NO_3^- -N) from water. However, few studies were available on the effects of biochar applications on adsorption-desorption properties of NO_3^- -N in soil. In this study, an incubation experiment was conducted to assess the effects of different biochars (corn-stalk biochar, rice-hull biochar and larch biochar) at four application rates (0.6%, 1.2%, 3.6%, and 6%) on adsorption and desorption of NO_3^- -N in black soil. Results showed that biochar applications increased NO_3^- -N adsorption, with the highest adsorption capacity occurred in soil added with 3.6% biochar. Of three biochars, corn-stalk biochar had the highest NO_3^- -N adsorption capacity, which was $0.929 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, whereas larch biochar had the lowest NO_3^- -N adsorption, with only $0.578 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Applications of biochars reduced the desorption rates of NO_3^- -N from soil. The lowest desorption was found at a biochar rate of 3.6%. On the contrary, corn-stalk biochar had the lowest NO_3^- -N desorption while larch biochar displayed the highest desorption. The adsorption ability of NO_3^- -N by biochars was: corn-stalk biochars > rice-hull biochar > larch biochar, but the desorption was opposite. The isothermal adsorption of NO_3^- -N on soil amended with biochars could be well described by Langmuir isothermal equation.

Keywords: corn-stalk biochar; rice-hull biochar; larch biochar; nitrate nitrogen; adsorption; desorption

收稿日期: 2015-07-31

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20110202); 吉林省科技引导计划项目(201205057); 公益性行业(农业)科研专项(20110303); 现代农业产业技术体系建设专项(nycytx-38)

作者简介: 王冰(1991—), 女, 北京人, 在读硕士研究生, 从事植物营养与环境生态研究。E-mail: wangbingyajd@126.com

* 通信作者: 刘淑霞 E-mail: liushuxia2005824@163.com

氮肥的过量施用和较低的利用率,使得农田土壤中的氮素随灌溉和降水以可溶性铵态氮(NH_4^+-N)和硝态氮(NO_3^--N)的形式淋失^[1],其中硝态氮的淋失被认为是旱地农田氮素损失的主要途径之一^[2],也是引起地下水硝态氮污染的重要原因^[3]。因此,提高土壤对氮的吸附,是减少氮素淋失、降低水体富营养化的重要途径^[4]。

近年来,生物质炭(Biochar)得到了国内外的广泛关注,它是秸秆、稻壳、木屑等农业废料或生活垃圾^[5]在低氧或缺氧条件下,经热解炭化产生的一类高度芳香化固态物质^[6]。研究指出,生物质炭具有较大的比表面积和较高的电荷密度且孔隙结构发达^[7],将其施入土壤中,不仅可以变废为宝,还能降低土壤容重、提高土壤孔隙度、增强土壤保水保肥能力^[8],且能促进土壤团聚体的形成,增加土壤稳定性并提高土壤对养分的吸附能力^[9]。

已有大量研究表明^[10-12]生物质炭对水体中的硝态氮表现出了良好的吸附性能,但对于生物质炭施入土壤后对硝态氮吸附-解吸性能的研究还较少。因此,本文以玉米秸秆、稻壳及松木为原料制备的生物质炭为研究对象,考察不同原料及不同添加比例生物质炭施入黑土后,对土壤吸附-解吸硝态氮性能的影响,以期为提高土壤氮素利用率,降低氮肥淋失提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤

供试土壤为典型黑土,采自吉林农业大学长期定位试验田(0~20 cm),地处 43°52'N、125°21'E,施肥量为 $\text{N } 180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O } 90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,以种植玉米为主。供试土壤经风干后过 2 mm 筛备

用。土壤基本理化性状见表 1。

1.1.2 生物质炭

供试生物质炭来自大连兴龙垦新能源开发有限公司,原料分别为玉米秸秆生物质炭、稻壳生物质炭及落叶松木生物质炭,炭化温度为 350~500 °C。玉米秸秆生物质炭的比表面积为 $4.05 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,稻壳生物质炭的比表面积为 $8.20 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,松木生物质炭的比表面积为 $97.22 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。生物质炭基本理化性状见表 2。

1.2 试验方法

1.2.1 培养试验

将生物质炭过 60 目筛,与一定量的土(过 2 mm 筛)充分混匀。试验共设 16 个处理,分别为单一供试土壤处理(CK)以及炭土比 0.6%、1.2%、3.6%、6.0%处理和单一生物质炭处理(Bc),每个处理 3 次重复,调节至 60%田间持水量,25 °C 下培养 40 d,作为供试样品备用。

1.2.2 等温吸附试验

称取 1.0 g 供试样品置于离心管中并称重(W1)。按 1:30 的样液比分别加入含氮量为 0、20、40、60、80、100、120、160、240 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硝酸钾溶液 30 mL(以 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 作背景电解质,再加几滴氯仿以防微生物繁殖)^[13]。放于 25 °C 恒温箱中持续振荡 24 h,于 $3800 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下离心 10 min 并过滤,测定滤液中的硝态氮浓度并计算含量,每个处理 3 次重复。

1.2.3 等温解吸试验

取浓度为 20、100、240 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的上述样品,将含有分离出上清液的离心管称重(W2),计算残留液中含氮量(W2-W1),然后加入 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液 30 mL,搅匀振荡 1 h。放置 25 °C 下恒温平衡 24 h,于 $3800 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下离心 10 min,倾倒上清液并过滤,测定上清液硝态氮浓度。根据吸附平衡后的浓

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Physicochemical characteristics of tested soil

pH	有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	碱解氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{NO}_3^--\text{N}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	黏粒/%	粉粒/%	砂粒/%
5.57	21.58	84.2	34.99	191.75	8.41	17.72	34.65	25.77	39.57

表 2 供试生物质炭的基本理化性状

Table 2 Physicochemical characteristics of tested biochars

类型	有机碳/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全钾/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	pH	CEC/ $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	EC/ $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$	$\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{NO}_3^--\text{N}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
玉米秸秆	463.54	8.61	16.20	20.79	9.82	21.01	2.81	4.30	1.02
稻壳	708.50	6.46	13.16	13.30	8.48	18.27	1.66	3.38	4.13
松木	210.20	1.45	11.07	6.16	8.08	2.31	0.12	1.08	4.25

度、残留液体积计算硝态氮的解吸量^[13]。每个处理 3 次重复。

1.3 测定方法

生物质炭比表面积：将生物质炭在 105 ℃下烘干，采用 BET 单点法用 004A 型 BET 氮吸附比表面仪进行测定。

生物质炭表面官能团：应用美国 NICOLET-EZ360 红外光谱仪进行红外光谱(IR)分析，扫描模式为 4000~400 cm⁻¹，采用 KBr 压片法测定，并通过 OMNIC 软件对谱线选取特征峰，对相应的官能团进行半定量分析和相对含量的比较。

生物质炭表面形态结构：用日本岛津制作所生产的 SSX-550 型扫描电子显微镜进行观察测定。

1.4 数据分析

按下列公式^[14]计算吸附量、解吸量和解吸率：

吸附量(mg·g⁻¹)=(初始浓度-平衡浓度)×溶液体积/称样质量

解吸量(mg·g⁻¹)=解吸液浓度×解吸液体积/称样质量

解吸率(%)=解吸量/吸附量×100%。

数据经 Excel 2010 整理，用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。红外光谱图使用 Origin7.5 软件分析作图。

2 结果与讨论

2.1 生物质炭结构表征

2.1.1 扫描电镜分析

图 1 从左至右分别为玉米秸秆生物质炭、稻壳生物质炭和松木生物质炭的扫描电镜图。可以看出：玉米秸秆生物质炭表面较粗糙，孔隙大小不一且较发达；稻壳生物质炭表面呈卷曲束状结构，孔隙也较为发达；松木生物质炭相对于其他两种生物质炭而言表面较光滑，层状结构明显而孔隙较少。

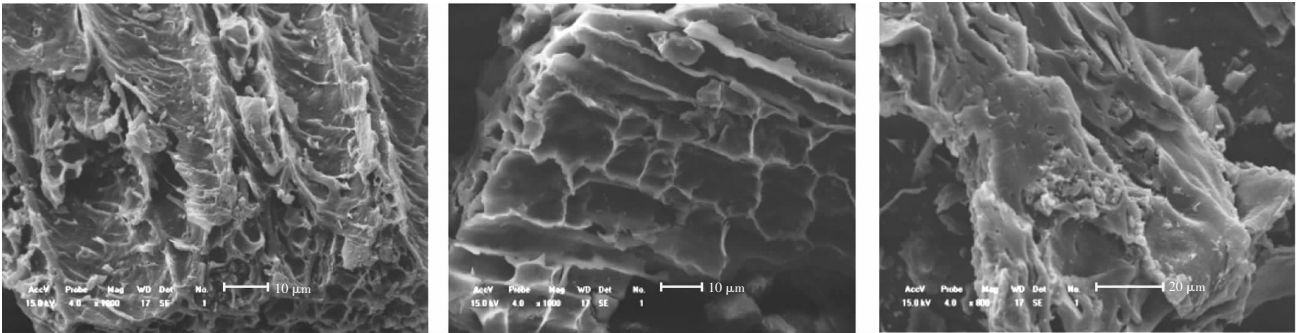


图 1 玉米秸秆生物质炭、稻壳生物质炭和松木生物质炭(从左至右)的 SEM 图

Figure 1 SEM images of corn-stalk biochar, rice-hull biochar and larch biochar(from left to right)

2.1.2 红外光谱分析

图 2 为三种生物质炭的红外光谱图。表 3 为生物质炭 FTIR 光谱主要吸收峰相对强度，能够反映生物质炭结构单元和官能团数量的相对含量。结合图 2 及表 3 可以看出：在代表羟基伸缩振动的 3400 cm⁻¹ 处，三种生物质炭均表现出明显波动，且以玉米秸秆生物质炭的波动最明显，表明其结构中羟基官能团的数量高于其余两者；2920 cm⁻¹ 和 2850 cm⁻¹ 处为脂族中聚亚甲基键和末端甲基的 C-H 振动，松木制备的生物质炭在此处表现出明显的波动，而玉米秸秆和稻壳制备的生物质炭波动则较弱；1720 cm⁻¹ 处为羧

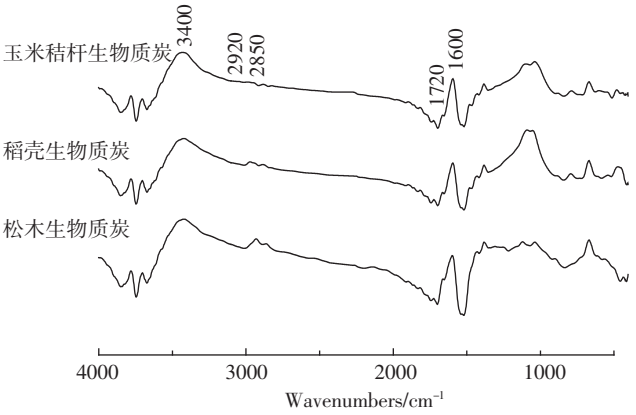


图 2 生物质炭的 FTIR 图

Figure 2 FTIR spectra of three biochars

表 3 生物质炭 FTIR 光谱主要吸收峰相对强度

Table 3 Relative intensities of main absorption peaks of biochar FTIR spectra

生物质炭材料	相对强度/%				
	1600 cm ⁻¹	1720 cm ⁻¹	2850 cm ⁻¹	2920 cm ⁻¹	3400 cm ⁻¹
玉米秸秆	30.37	3.42	0.54	2.54	49.37
稻壳	30.31	4.19	2.43	6.32	44.79
松木	35.23	3.21	4.67	9.97	43.58

基或醛、酮、酯的 C=O 伸缩振动, 三种生物质炭均未表现出明显振动, 说明三者的氧化度均较低; 在代表苯环 C=C 键伸缩振动的 1600 cm^{-1} 处, 三者均表现出强烈的振动, 表明三者均含有稳定的芳烃骨架。研究表明, 生物炭的稳定性受其中脂肪族成分和芳烃成分相对含量的影响, 脂肪族成分越多, 其结构越不稳定^[15]。松木制备的生物质炭在 2920 、 2850 、 1600 cm^{-1} 处均有明显振动, 说明其结构在三者中最复杂。

2.2 生物质炭对黑土中硝态氮的吸附特性

各处理对黑土 NO_3^--N 的吸附等温线如图 3 所示。随着溶液中 NO_3^--N 浓度的升高, 各处理对 NO_3^--N 的吸附量也随之增加。以对 NO_3^--N 的实际最大吸附量为例: 玉米秸秆生物质炭的各处理表现为 $\text{CK}(0.255\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < \text{Bc}(0.384\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 0.6\%(0.803\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 6.0\%(0.834\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 1.2\%(0.881\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 3.6\%(0.929\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1})$; 稻壳生物质炭的各处理表现为 $\text{CK}(0.255\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < \text{Bc}(0.350\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 0.6\%(0.675\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 6.0\%(0.687\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 1.2\%(0.730\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 3.6\%(0.802\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1})$; 松木生物质炭的各处理表现为 $\text{CK}(0.255\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < \text{Bc}(0.279\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 0.6\%(0.402\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 6.0\%(0.487\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 1.2\%(0.548\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}) < 3.6\%(0.578\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1})$ 。即与 CK 相比, 添加生物质炭的处理吸附了更多的 NO_3^--N 。这与 Kameyama 等^[16]的研究结果类似。

Walelign^[17]将橡木和竹子制备的两种生物质炭, 分别以 0.5% 、 1.0% 和 2.0% 的炭土比施入土壤后发现, 与对照相比施用生物质炭的土壤吸附了更多的 NO_3^--N , 且添加 2.0% 竹炭的土壤所吸附的 NO_3^--N 含量最高, 达到 $47.07\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Dempster 等^[18]、高德才等^[19]的研究指出, 添加生物质炭能降低土壤 NO_3^--N 淋失量, 与其对 NO_3^--N 的吸附作用有关。王观竹等^[20]发现, 玉米秸秆生物质炭、树枝炭和树叶炭均对水中硝态氮表现出了良好的吸附性。本研究认为, 施用生物质炭的黑土能吸附更多 NO_3^--N 的原因, 主要是由于生物质炭具有特殊的组成结构、物理性质^[8]和较高的 AEC^[18], 使其对 NO_3^- 有一定的吸附作用^[7,21]造成的。还有可能是因为生物质炭施入土壤后, 增加了土壤孔隙度、促进了土壤大团聚体的形成^[9], 从而提高了土壤对 NO_3^- 的吸附和保持能力。

目前, 关于土壤硝态氮淋失造成地下水污染及水体富营养化的报道屡见不鲜^[22-23]。水体富营养化不仅增加了水中有害、有毒物质的含量, 还使水体丧失了原有的平衡能力, 导致水体生态环境遭到破坏。因此, 将生物质炭作为土壤改良剂施入土壤, 可以提高

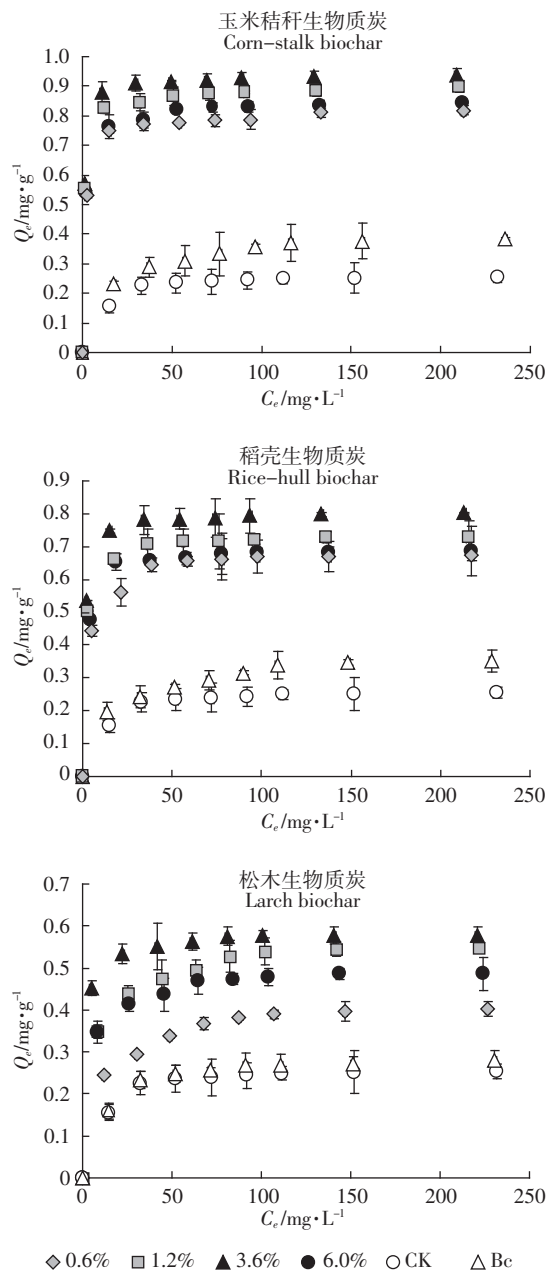


图3 施用生物质炭的黑土对硝态氮的吸附等温线

Figure 3 Isotherms for nitrate adsorption on black soil amended with biochars

对土壤硝态氮的吸附, 降低土壤硝态氮淋失量、减少地下水污染及水体富营养化的发生。

本文采用 Langmuir 方程和 Freundlich 方程对数据进行拟合, 结果见表 4。

Langmuir 方程的线性形式为:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q} + \frac{1}{K_L Q} \quad (1)$$

Freundlich 方程的线性形式为:

$$\ln Q_e = \ln K_f + \ln C_e / n \quad (2)$$

表4 施用生物质炭的黑土对硝态氮吸附等温线拟合结果

Table 4 Isotherm parameters for nitrate adsorption on black soil amended with biochars

生物质炭 类型	添加 比例/%	Langmuir 方程			Freundlich 方程		
		$Q/\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	$K_L/\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$	R^2	$1/n$	$K_F/(\text{L}\cdot\text{mg}^{-1})^{1/n}$	R^2
CK	0	0.276	0.093	0.953	0.160	0.116	0.748
玉米秸秆	0.60	0.805	0.826	0.994*	0.090	0.532	0.834
生物质炭	1.20	0.886	1.11	0.997**	0.093	0.584	0.832
	3.60	0.933	1.63	0.999**	0.089	0.630	0.815
	6.00	0.836	0.869	0.994*	0.095	0.542	0.863
	100(Bc)	0.399	0.077	0.977	0.200	0.131	0.950
稻壳生	0.60	0.680	0.356	0.967	0.115	0.392	0.869
物质炭	1.20	0.731	0.689	0.996*	0.087	0.488	0.847
	3.60	0.803	0.938	0.999**	0.084	0.545	0.813
	6.00	0.696	0.535	0.989*	0.086	0.461	0.765
	100(Bc)	0.353	0.089	0.936	0.219	0.115	0.963
松木生	0.60	0.409	0.121	0.948	0.179	0.165	0.933
物质炭	1.20	0.549	0.201	0.970	0.143	0.271	0.938
	3.60	0.579	0.670	0.982	0.067	0.421	0.896
	6.00	0.488	0.283	0.960	0.108	0.287	0.924
	100(Bc)	0.303	0.079	0.973	0.186	0.111	0.799

注:* 差异达显著水平($P<0.05$);** 差异达极显著水平($P<0.01$)。

Note:* and ** indicate significant differences between treatments at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

式中: Q 为理论最大吸附量, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$; C_e 为平衡浓度, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; Q_e 为平衡吸附量, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$; K_L 为Langmuir常数, $\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$; $1/n$ 是一无量纲的与吸附强度有关的系数; K_F 是Freundlich常数。

对比回归系数 R^2 可知, Langmuir 方程比 Freundlich 方程更好地描述了施用生物质炭的黑土对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的吸附过程。这与 Mishra 等^[24]的报道类似。

本研究中,不同生物质炭及施用不同生物质炭的黑土对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的吸附影响表现为玉米秸秆生物质炭>稻壳生物质炭>松木生物质炭。由扫描电镜图分析可知,可能是由于玉米秸秆生物质炭孔隙结构更发达,吸附的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量相对较多造成的。此外,研究表明^[25]生物质炭中所含羟基上的氢键对阴离子有一定的静电吸附作用。由红外光谱图分析可知,玉米秸秆生物质炭中羟基官能团数量高于稻壳生物质炭及松木生物质炭,也使得其对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 有更强的吸附性能。就添加比例来看,三种生物质炭添加比例在3.6%时,黑土对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的吸附量较高,可能是因为过高比例的生物质炭引入了较多阴离子,削弱了其自身对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的吸附造成的。

2.3 生物质炭对黑土中硝态氮的解吸特性

各处理对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的解吸率见表5。施用不同生物质炭的黑土对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 解吸率的影响均表现为 $\text{CK}>\text{Bc}>0.6\%$ 处理>6.0%处理>1.2%处理>3.6%处理,与其对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸附影响的规律相反,说明添加生物质炭能降低黑土对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的解吸率。施用玉米秸秆生物质炭的黑土对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的解吸率较低,变幅在24.3%~13.5%;施用松木生物质炭的黑土对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的解吸率较高,变幅在31.7%~19.6%;施用稻壳生物质炭的黑土对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的解吸率介于二者之间,变幅在27.3%~17.3%。这说明,施用不同生物质炭的黑土对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的解吸能力表现为玉米秸秆生物质炭<稻壳生物质炭<松木生物质炭。三种生物质炭对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的解吸能力同样符合此规律。

从 Martin 等^[26]和 Braida 等^[27]的研究中可以看出,导致上述结果的原因可能是发生了解吸滞后现象。研究认为,微孔吸附是导致解吸滞后的直接原因,吸附过程中,生物质炭微孔通过扩张变形来吸附污染物分子,而解吸过程中,因微孔无法迅速恢复到原来

表5 施用生物质炭的黑土对硝态氮的解吸率

Table 5 Desorption rates of nitrate from black soil amended with biochars

初始硝态氮 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	生物质炭 施用比例/%	玉米秸秆 生物质炭/%	稻壳 生物质炭/%	松木 生物质炭/%
20	0(CK)	36.1±1.32a	36.1±1.32a	36.1±1.32a
	0.60	24.3±1.53c	27.3±0.354c	31.7±1.59bc
	1.20	19.6±1.40d	24.6±1.16c	26.5±1.90de
	3.60	17.8±1.65d	21.4±0.774d	23.4±1.95e
	6.00	23.0±1.54c	25.0±0.305c	29.9±1.13cd
	100(Bc)	31.7±2.05b	32.7±1.45b	34.7±1.48ab
100	0(CK)	30.3±2.41a	30.3±2.41a	30.3±2.41a
	0.60	21.1±0.880bc	24.4±1.28abc	28.0±1.14a
	1.20	17.3±0.299c	21.8±1.26bc	24.1±1.94a
	3.60	15.3±0.652c	18.7±1.82c	21.4±1.74a
	6.00	19.8±0.98bc	22.7±1.87bc	26.2±1.30a
	100(Bc)	25.7±1.43ab	26.8±1.60ab	29.5±1.78a
240	0(CK)	28.1±1.41a	28.1±1.41a	28.1±1.41a
	0.60	19.1±0.458bc	22.4±1.01ab	25.0±0.032a
	1.20	15.9±0.797bc	20.0±1.64ab	23.6±1.84a
	3.60	13.5±0.694c	17.3±0.190b	19.6±0.460a
	6.00	17.3±0.031bc	21.2±1.18ab	23.9±1.32a
	100(Bc)	22.4±0.004ab	24.8±0.034ab	27.6±1.98a

注:不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。

Note: Different letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$).

的状态释放污染物,使得部分被吸附的污染物分子不能被解吸,造成解吸滞后现象。就本研究而言, $\text{NO}_3\text{-N}$ 被生物质炭的微孔吸附后不易被释放,从而导致施加生物质炭的黑土出现解吸滞后现象。造成添加不同种类生物质炭的黑土解吸能力有差异,可能是由于玉米秸秆生物质炭相对于其他两种生物质炭,有更丰富的孔隙结构,其所含微孔数量相对较多导致的。

3 结论

(1)向黑土中施用生物质炭,可以提高土壤对硝态氮的吸附量,并降低土壤对硝态氮的解吸率。

(2)不同来源生物质炭对黑土吸附-解吸硝态氮性能的影响不同。施用玉米秸秆生物质炭的黑土对硝态氮的吸附量最大,解吸率最低;施用松木生物质炭的黑土对硝态氮的吸附量最小,解吸率最高。

(3)生物质炭的不同添加比例对黑土吸附-解吸硝态氮性能的影响不同。随着添加比例的增加吸附量有所增加,增加到一定量后,又有所下降。当三种生物质炭的添加比例为3.6%时,黑土对硝态氮的吸附量最高,解吸率最低。

(4)Langmuir方程比Freundlich方程更好地描述了生物质炭及添加生物质炭的黑土对硝态氮的吸附过程。

参考文献:

- [1] Bouwman A, Boumans L, Batjes N. Estimation of global NH_3 volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16(2): 801-814.
- [2] 靖彦,陈效民,李秋霞,等.施用生物质炭对红壤中硝态氮垂直迁移的影响及其模拟[J].应用生态学报,2014,25(11):3161-3167.
JING Yan, CHEN Xiao-min, LI Qiu-xia, et al. Effects of biochar application on the vertical transport of $\text{NO}_3\text{-N}$ in the red soil and its simulation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(11):3161-3167.
- [3] 盖霞普,刘宏斌,翟丽梅,等.玉米秸秆生物质炭对土壤无机氮素淋失风险的影响研究[J].农业环境科学学报,2015,34(2):310-318.
GAI Xia-pu, LIU Hong-bin, ZHAI Li-mei, et al. Effects of corn-stalk biochar on inorganic nitrogen leaching from soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34(2):310-318.
- [4] Juang T C, Wang M K, Chen H J. Ammonium fixation by surface soils and clays[J]. *Soil Sci*, 2001, 166(5):345-352.
- [5] Özçimen D, Ersoy-Meriçboyu A. Characterization of biochar and bio-oil samples obtained from carbonization of various biomass materials[J]. *Renewable Energy*, 2010, 35(6):1319-1324.
- [6] Antal M J, Gronli M. The art, science and technology of charcoal production[J]. *Industrial and Engineering Chemistry*, 2003, 42(8):1619-1640.
- [7] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils[J]. *Soil Science Society America Journal*, 2006, 70(5):1719-1730.
- [8] 袁金华,徐仁扣.生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J].生态环境学报,2011,20(4):779-785.
YUAN Jin-hua, XU Ren-kou. Progress of the research on the properties of biochars and their influence on soil environmental functions[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(4):779-785.
- [9] 武玉,徐刚,吕迎春,等.生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J].地球科学进展,2014,29(1):68-79.
WU Yu, XU Gang, LÜ Ying-chun, et al. Effects of biochar amendment on soil physical and chemical properties: Current status and knowledge gaps[J]. *Advances in Earth Science*, 2014, 29(1):68-79.
- [10] Karimi M, Entezari M H, Chamsaz M. Sorption studies of nitrate ion by a modified beet residue in the presence and absence of ultrasound[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2010, 17(4):711-717.
- [11] 李丽,陈旭,吴丹,等.固定化改性生物质炭模拟吸附水体硝态氮潜力研究[J].农业环境科学学报,2015,34(1):137-143.
LI Li, CHEN Xu, WU Dan, et al. Adsorption of aqueous nitrate-N by immobilized modified biochar[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34(1):137-143.
- [12] 王靓,葛春兰,薛英文,等.生物炭吸附去除溶液中硝态氮研究综述[J].中国农村水利水电,2015(2):32-37.
WANG Liang, GE Chun-lan, XUE Ying-wen, et al. An overview of the adsorption of nitrate using biochar[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2015(2):32-37.
- [13] 熊鹰.辽河源头区典型农田土壤中N、P、K的季节变化规律及吸附特征[D].长春:吉林大学,2013.
XIONG Ying. Seasonal variation of N, P, K in the soil of the typical farmland in the headwater region of the Liao He River and the adsorption characteristics[D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [14] 刘秀梅,张夫道,冯兆滨,等.风化煤腐植酸对氮、磷、钾的吸附和解吸特性[J].植物营养与肥料学报,2005,11(5):641-646.
LIU Xiu-mei, ZHANG Fu-dao, FENG Zhao-bin, et al. N, P and K adsorption and desorption characteristics of humic acids made from the airslake-coal[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(5):641-646.
- [15] 胡学玉,易卿,禹红红.土壤生态系统中黑碳研究的几个关键问题[J].生态环境学报,2012,21(1):153-158.
HU Xue-yu, YI Qing, YU Hong-hong. Several key issues related to black carbon in soil ecosystems[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(1):153-158.
- [16] Kameyama K, Miyamoto T, Shiono T, et al. Influence of sugarcane bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcareous dark red soil[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2012, 41(4):1131-1137.
- [17] Walelign Demisie Bayou. Effects of biochar application on C, N, and P cyclings and soil quality in highly weathered acidic ferrallic soils[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [18] Dempster D N, Jones D L, Murphy D V. Clay and biochar amendments

- decreased inorganic but not dissolved organic nitrogen leaching in soil [J]. *Soil Research*, 2012, 50(3):216-221.
- [19] 高德才, 张蕾, 刘强, 等. 旱地土壤施用生物炭减少土壤氮损失及提高氮素利用率[J]. 农业工程学报, 2014, 30(6):54-61.
GAO De-cai, ZHANG Lei, LIU Qiang, et al. Application of biochar in dryland soil decreasing loss of nitrogen and improving nitrogen using rate[J]. *Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering*, 2014, 30(6):54-61.
- [20] 王观竹, 陶佳慧, 李琳慧, 等. 不同热解温度及材料来源的生物质炭对水中硝氮的吸附作用研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(6):109-113.
WANG Guan-zhu, TAO Jia-hui, LI Lin-hui, et al. Study of adsorption of nitrate nitrogen in water on biomass charcoals derived from different pyrolysis temperatures and sources[J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, 15(6):109-113.
- [21] Singh B P, Hatton B J, Singh B, et al. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2010, 39(4):1224-1235.
- [22] 陆宇燕, 李丕鹏. 氮肥污染的危害[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2014, 32(1):1-5.
LU Yu-yan, LI Pi-peng. Effects of application of nitrogen fertilizer on pollutions[J]. *Journal of Shenyang Normal University (Natural Science Edition)*, 2014, 32(1):1-5.
- [23] 欧阳威, 蔡冠清, 黄浩波, 等. 小流域农业面源氮污染时空特征及与土壤呼吸硝化关系分析[J]. 环境科学, 2014, 35(6):2411-2418.
OUYANG Wei, CAI Guan-qing, HUANG Hao-bo, et al. Temporal-spatial distribution of agricultural diffuse nitrogen pollution and relationship with soil respiration and nitrification[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(6):2411-2418.
- [24] Mishra P C, Patel R K. Use of agricultural waste for the removal of nitrate-nitrogen from aqueous medium[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(1):519-522.
- [25] 王茜, 唐翔宇, 关卓, 等. 生物炭对土壤中农药的吸附-解吸行为和生物有效性的影响综述[J]. 世界科技研究与发展, 2015, 37(2):200-205.
WANG Qian, TANG Xiang-yu, GUAN Zhuo, et al. Reviews on effect of biochar on pesticide sorption-desorption and bioavailable in soil[J]. *World Sci-Tech R&D*, 2015, 37(2):200-205.
- [26] Martin S M, Kookana RS, Zwieten L V, et al. Marked changes in herbicide sorption-desorption upon ageing of biochars in soil[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, 231-232:70-78.
- [27] Braida W J, Pignatello J J, LU Y F, et al. Sorption hysteresis of benzene in charcoal particles environmental[J]. *Science & Technology*, 2003, 37(2):409-417.



新书推介

生物质废物资源综合利用技术

陈冠益、马文超、颜蓓蓓 等 编著

主要包括生物质废物资源的现状及特点、生物质废物资源的利用技术(燃气化利用技术、燃油化利用技术、发电供热利用技术、燃料化利用技术、肥料化利用技术、建材化利用技术、高值化利用技术)、综合利用中主要的二次污染物控制、技术的发展趋势与应用挑战,旨在为广大读者系统介绍生物质废物资源化综合利用技术的发展现状、技术进展和推广应用等。

※书号:9787122217899

※定 价:198.0 元

※开本:16

※出版日期:2015年9月

土壤监测分析技术

刘凤枝、李玉浸 主编

本书包括基础篇、无机篇、有机篇三篇。主要介绍了规范的环境监测实验室的建制和布局、仪器设备的配置和实验室的基本管理要求;土壤污染现状监测任务及监测分析技术的概述;元素监测的主要手段及在监测中的应用;样品的采集与制备。土壤样品的各种消解方法;18项微量元素、常量元素、稀土元素和化合物等项目的测定;有机物分析常规监测手段,色谱、质谱和色质联用技术的原理和应用,收集、整理了针对土壤中可能存在的有机污染物的检测方法等。

※书号:9787122226976

※定 价:298.0 元

※开本:16

※出版日期:2015年7月



如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn

服务电话:010-64518888,64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgyebs.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街13号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。