

不同生物质炭对海南砖红壤性质及 N₂O 排放的影响^①

季雅岚¹, 索龙², 解钰³, 王小淇¹, 方雅各¹, 杨霖¹, 赵伶茹¹, 孟磊^{1*}

(1 海南大学热带农林学院, 海口 570203; 2 渭南市果业技术推广中心, 陕西渭南 714000;

3 海南省农业科学院农业环境与土壤研究所, 海口 571100)

摘要: 制备温度及原料影响生物质炭性质, 相应影响土壤 N₂O 的排放, 为筛选适宜于海南砖红壤的生物质炭类型, 利用室内培养试验, 研究海南 4 种禾本科植物材料在 300、500、700℃ 三种热解温度下制备的 12 种生物质炭对砖红壤性质及 N₂O 排放的影响。结果表明: 所有生物质炭都能显著增加土壤有机碳、有效磷和速效钾含量, 提高土壤 pH, 加速土壤硝化作用进行; 300℃ 下制备的生物质炭能促进土壤 N₂O 排放, 500℃ 和 700℃ 下制备的生物质炭则对土壤 N₂O 排放有明显抑制作用; 所有材料中, 高温热解温度下由甘蔗渣制备的生物质炭处理土壤的 N₂O 排放量最低, 可能由于甘蔗榨糖后剩下的甘蔗渣以较稳定的碳水化合物为主。综合分析, 推荐 500℃ 热解温度下生成的甘蔗渣生物质炭实施土壤改良, 更有利于 N₂O 减排。

关键词: 砖红壤; 原料; 温度; 生物质炭; N₂O 排放

中图分类号: S156.6 **文献标识码:** A

N₂O 是一种重要的温室气体, 其增温效应是 CO₂ 的 296 倍; N₂O 还能与大气中的 O₃ 发生光化学反应, 破坏臭氧层, 使得到达地球表面的紫外辐射增加, 威胁生物健康^[1]。土壤是 N₂O 排放的重要源, 土壤 N₂O 主要是微生物参与的硝化与反硝化过程而产生的^[2], 同时土壤的温度、pH、有机碳、全氮、水分等性质都会影响土壤 N₂O 的排放^[3-4]。

生物质炭(Biomass-derived black carbon 或 Bio-char)是由包括植物性材料在内的生物质在完全或部分缺氧下经热解炭化产生的一类高度芳香化难溶性固态物质^[5]。研究表明, 生物质炭能改善土壤性质, 增加作物产量, 从而直接或间接影响 N₂O 排放^[6]。生物质炭可以增加土壤孔隙率, 由此增加土壤氧含量而抑制厌氧反硝化过程^[7], 并且生物质炭中的碱性物质可以提高土壤 pH, 从而刺激 N₂O 还原酶活性而减少 N₂O 排放^[7]。Yanai 等^[8]的研究则显示生物质炭促进土壤 N₂O 的排放, 施用生物质炭的处理土壤 N₂O 排放量明显高于对照; 还有报道认为, 生物质炭对土壤 N₂O 排放没有影响^[9]。因此, 生物质炭对 N₂O 作用具有一定的不确定性, 可能源于所用生物质炭的制备原料及制备温度的差异。不同原料及热解温度下制备的

生物质炭在组成、结构及性质等方面有很大差异, 影响到其对土壤属性及矿质氮的作用效果^[10], 由此造成土壤 N₂O 排放的差异。

砖红壤是海南主要土壤类型, 生物质炭对砖红壤的改良效果明显^[11]。海南地处热带, 生物种类丰富, 但不同生物材料在不同热解温度下制备的生物质炭对土壤性质及 N₂O 排放影响的研究鲜见报道。本文选择海南常见、资源量较大而又有代表性的 4 种禾本科植物作为供试材料, 利用室内培养试验, 研究其在不同温度下制备的生物质炭对砖红壤 N₂O 排放的影响, 并结合土壤性质分析, 筛选出既有助于 N₂O 减排, 又有益于土壤改良的生物材料类型, 为海南生物材料的合理利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验用土取自海南省儋州市西培农场(19°28' N, 109°27' E), 为花岗岩母质发育的砖红壤, 采集深度为 0~20 cm。土壤基本理化性质为: pH 4.82, 有机碳 5.93 g/kg, 全氮 0.60 g/kg, 有效磷 40.12 mg/kg, 速效钾 85.57 mg/kg。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41261063; 41661051)和海南省自然科学基金项目(317070; 314046)资助。

* 通讯作者(menglei94@sohu.com)

作者简介: 季雅岚(1992—), 女, 安徽合肥人, 硕士研究生, 主要从事土壤氮循环和热带土壤改良方面的研究。E-mail: 876807752@qq.com

供试生物质炭由王草(I)、水稻秸秆(RS)、甘蔗渣(B)和玉米秸秆(CS)分别在 300℃、500℃和 700℃下厌氧裂解制备。具体制备过程为：将生物质材料干燥、粉碎，称取 300 g 置于铝箔纸中，包裹好后用针头在铝箔纸表面均匀扎孔，然后置于 KTF 管式真空气氛

电阻炉(江苏宜兴市前锦炉业设备有限公司生产)内，密封后抽真空，然后充氮气(纯度≥99.99%)形成厌氧环境并加热，达到预设温度后开始计时，2 h 后切断电源，持续通入氮气冷却至室温，取出样品称重。生物质炭性质见表 1。

表 1 供试生物质炭性质
Table 1 Basic physicochemical properties of tested biochars

性质	王草(I)			水稻秸秆(RS)		
	300℃	500℃	700℃	300℃	500℃	700℃
pH	5.42	6.10	7.68	6.93	9.68	9.87
灰分碱度(mol/L)	4.76	6.06	5.75	3.99	6.01	5.09
制碳率(g/kg)	4.60	3.70	3.40	4.90	3.60	3.50
灰分含量(g/kg)	806.70	717.10	705.50	745.70	642.70	618.50
C(g/kg)	543.10	568.60	573.10	469.80	478.60	467.60
N(g/kg)	17.10	16.00	15.60	17.90	19.30	28.20
性质	甘蔗渣(B)			玉米秸秆(CS)		
	300℃	500℃	700℃	300℃	500℃	700℃
pH	5.66	7.23	7.59	7.26	9.33	8.89
灰分碱度(mol/L)	3.43	3.59	3.95	5.10	5.87	5.16
制碳率(g/kg)	4.70	2.90	2.50	4.60	3.30	3.10
灰分含量(g/kg)	983.90	938.50	926.40	840.90	776.00	708.40
C(g/kg)	644.60	795.60	826.50	547.00	593.20	602.00
N(g/kg)	12.10	13.20	13.40	26.60	26.00	20.50

1.2 试验设计

生物质炭分别为 4 种物料在 3 种温度下制备，共 12 种生物质炭类型，相应构成 12 个处理，加上空白(CK，不添加生物炭)，共 13 个处理。每处理设 8 个重复，其中 3 个重复进行气体采集，另外的 5 个重复在培养期间测定矿质氮含量。

培养试验过程如下：称取 150.0 g 土(以干土计)置于 250 ml 锥形瓶中，按风干土质量的 1.5% 加入生物质炭，将生物质炭与土混匀，调节土壤水分至田间持水量的 50%，用保鲜膜覆盖瓶口，并在保鲜膜上用针扎几个通气孔后将锥形瓶置于 30℃ 恒温培养箱内预培养 7 d。预培养结束后，加入 1 ml 含 N 30 mg 的脲(分析纯)溶液，折合加入 N 150 mg/kg 干土，调节土壤水分至田间持水量的 65%，覆膜后置于 30℃ 恒温培养箱内培养。培养过程中用称重法维持土壤水分恒定。

1.3 气体采样及测定方法

加入脲溶液的第 1、2、4、7、11、16、23、30 天进行气体采集。气体采集前，向瓶内吹入数分钟高纯空气以除去瓶内气体，随后迅速用硅胶塞塞住瓶口，并用 704 胶密封瓶口和塞子之间的空隙。在密封锥形

瓶后的 0 min 及 40 min 时分别用 25 ml 的注射器通过硅橡胶塞的中间取样口采集瓶中气体 4 ml，直接注入气相色谱仪(岛津 GC-2014)测定气体样品中 N₂O 浓度。

土壤 N₂O 排放通量的计算公式为：

$$F = \rho \times \Delta C / \Delta t \times 273.15 / (273.15 + T) \times V / m \quad (1)$$

式中： F 为 N₂O 排放通量(N₂O-N, $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$)； ρ 是标准状态下 N₂O 密度(kg/m^3)； $\Delta C / \Delta t$ 为是锥形瓶内 N₂O 浓度变化率(N₂O-N, $10^{-9}/\text{h}$)； V 是锥形瓶除去土壤体积后的体积(m^3)； T 为环境气温($^{\circ}\text{C}$)； m 是培养土烘干质量(kg)。

土壤 N₂O 累积排放量的计算公式为：

$$M = F_1 \times 24 + \sum_{i=2}^n (F_i + F_{i-1}) / 2 \times (t_i - t_{i-1}) \times 24 \quad (2)$$

式中： M 为 N₂O 累积排放量(N₂O-N, $\mu\text{g}/\text{kg}$)； F 为土壤 N₂O 排放通量(N₂O-N, $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$)； t 为采样时间(d)； i 为采样次数； n 为总测定次数； $t_i - t_{i-1}$ 为两次采样的间隔天数(d)。

1.4 土壤采样及测定方法

土壤基本理化性质参照《土壤农业化学分析方法》^[12]进行，其中：pH 采用电位法(水土比 2.5：1)；有机碳采用重铬酸钾-硫酸硝化法；土壤全氮

采用半微量凯氏定氮法；有效磷采用钼蓝比色法；速效钾采用 1 mol/L NH_4OAc 溶液(pH 7)浸提,火焰光度计法。

土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 测定方法:用 2 mol/L KCl 浸提土壤(液土比 5:1),滤液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 采用靛酚蓝比色法(625 nm)测定, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 采用双波长紫外分光光度计(220 nm 和 275 nm)进行。

1.5 数据处理

利用 Excel 2016 进行基础数据处理,方差分析利用 SPSS 19.0 完成,处理间差异采用 Tukey HSD 多重比较法,差异性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 添加生物炭对砖红壤理化性质的影响

和对照相比,添加生物炭可显著提高土壤 pH

及土壤有机碳、有效磷和速效钾含量,但对全氮含量影响大多不显著(表 2)。同种物料在不同温度下制备的生物质炭对土壤性质的影响因指标不同而异,高温下制备的生物质炭对土壤有效磷和速效钾含量的增加幅度大于低制备温度下的;对土壤 pH 的提升幅度以 500℃下制备的生物质炭最高;土壤有机碳和全氮变化则没有规律性。

不同物料制备的生物质炭对土壤性质的影响则因制备温度不同而异。相较而言,玉米秸秆在 500℃和 700℃热解条件下制备的生物质炭对土壤有机碳含量的增加幅度较大;王草在 500℃和 700℃热解条件下制备的生物质炭对土壤 pH 的增加幅度最高;玉米秸秆和甘蔗渣在 700℃热解条件下制备的生物质炭对土壤有效磷和速效钾含量的增幅大于其他物料制备的生物质炭;土壤全氮含量变化则没有规律性。

表 2 不同生物炭处理砖红壤的理化性质
Table 2 Physicochemical properties of tested Latosol treated by different biochars

热解温度	生物炭	有机碳(g/kg)	全氮(g/kg)	pH	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
	CK	3.24 ± 0.16 f	0.31 ± 0.03 c	5.00 ± 0.11 g	17.60 ± 0.35 g	85.90 ± 1.96 f
300℃	I	7.05 ± 0.37 bcd	0.58 ± 0.01 b	6.88 ± 0.02 f	20.81 ± 0.1 f	112.68 ± 3.12 e
	RS	6.95 ± 0.51 bcd	0.47 ± 0.04 bc	6.67 ± 0.03 e	19.97 ± 0.27 e	137.90 ± 2.06 ef
	B	7.60 ± 0.12 ab	0.40 ± 0.06 bc	6.24 ± 0.03 f	20.40 ± 0.47 f	108.00 ± 3.57 e
	CS	7.46 ± 0.45 abc	0.83 ± 0.08 a	6.61 ± 0.11 ef	19.97 ± 0.29 ef	125.42 ± 1.80 ef
500℃	I	7.58 ± 0.32 ab	0.51 ± 0.07 bc	7.27 ± 0.16 b	33.94 ± 0.15 b	240.07 ± 0.56 a
	RS	6.41 ± 0.26 de	0.44 ± 0.05 bc	7.04 ± 0.05 cd	32.88 ± 0.78 cd	219.41 ± 9.11 d
	B	6.56 ± 0.55 cd	0.47 ± 0.04 bc	6.30 ± 0.05 cd	32.58 ± 0.15 bc	233.69 ± 5.58 d
	CS	8.19 ± 0.44 a	0.41 ± 0.03 bc	6.88 ± 0.06 bcd	33.78 ± 0.52 bcd	226.73 ± 5.90 d
700℃	I	5.44 ± 0.32 e	0.36 ± 0.02 bc	7.03 ± 0.37 ab	40.07 ± 0.56 ab	241.39 ± 14.36 cb
	RS	6.36 ± 0.09 de	0.40 ± 0.04 bc	6.84 ± 0.07 bc	39.41 ± 0.99 bc	225.84 ± 2.14 c
	B	6.92 ± 0.09 bcd	0.39 ± 0.07 bc	6.42 ± 0.11 def	40.36 ± 1.01 def	241.85 ± 10.99 c
	CS	7.27 ± 0.23 abcd	0.51 ± 0.08 bc	6.81 ± 0.18 bcd	43.40 ± 1.02 bcd	209.09 ± 5.15 b

注:表中同列不同小写字母表示各处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

2.2 添加生物炭对砖红壤 N_2O 排放的影响

土壤 N_2O 排放通量变化趋势各处理基本相同,均在培养的第 2 天后开始升高,第 7 天前达到排放高峰,随后排放通量开始下降,到培养的第 23 天左右时趋于稳定(图 1)。

同一生物材料在不同温度下制备的生物质炭添加土壤后对 N_2O 排放影响有显著的差异。300℃下制备的生物质炭显著促进了土壤 N_2O 排放,其土壤 N_2O 排放通量是最高的,而且这种高排放通量持续较长时间。500℃和 700℃下制备的生物炭对

N_2O 排放的影响则因制备材料不同而有差异。王草、甘蔗渣以及玉米秸秆在 500℃和 700℃下制备的生物质炭,能一定程度降低 N_2O 排放通量,水稻秸秆在这两个温度下制备的生物质炭对 N_2O 排放的影响与 CK 之间的差异不明显。此外,500℃和 700℃下制备的生物质炭对 N_2O 的减排差异不甚明显。从制备物料比较,甘蔗渣在 500℃和 700℃下制备的生物质炭对 N_2O 的减排效果最明显,300℃下由水稻秸秆制备的生物质炭则使得土壤 N_2O 有着最高的排放通量。

生物质炭对土壤 N₂O 排放总量的影响具有规律性(图 2)。同种物料在不同热解温度下制备的生物质炭对土壤 N₂O 排放总量影响差异明显。300℃制备的

生物质炭处理的土壤 N₂O 排放总量显著高于 500℃和 700℃下生物质炭处理及 CK 处理,500℃与 700℃下生物质炭处理间的差异不显著。

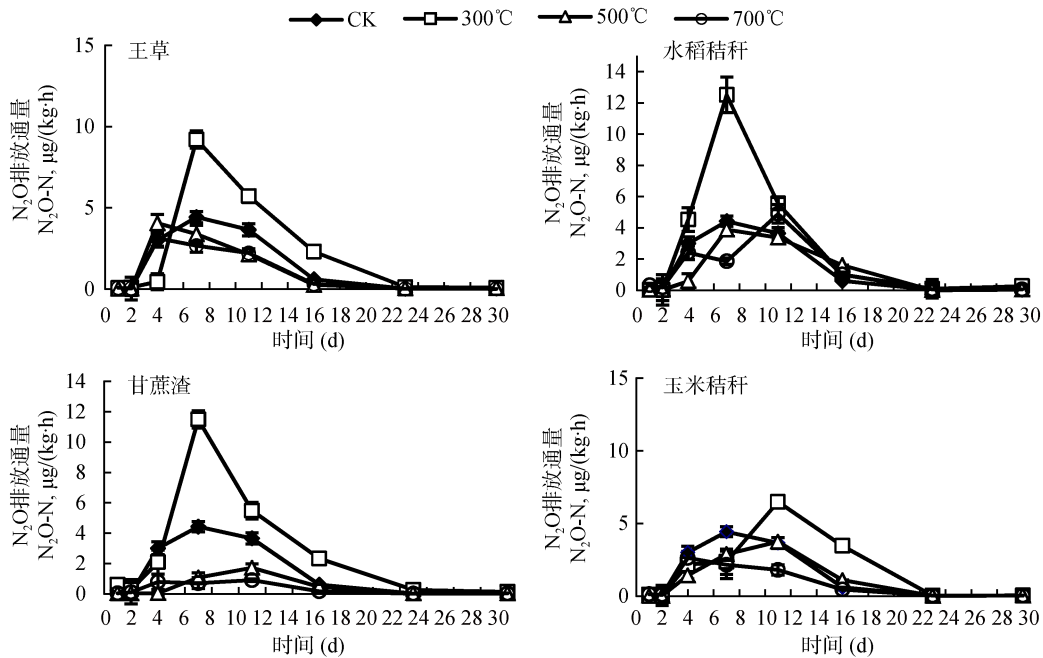


图 1 添加不同生物质炭对砖红壤 N₂O 排放通量的影响
Fig. 1 Effects of different biochars on N₂O emission flux of Latosol

不同物料制备的生物质炭对土壤 N₂O 排放总量的影响随制备温度不同而异。甘蔗渣制备的生物质炭处理土壤 N₂O 排放总量最低,其中 500℃和 700℃下的生物质炭处理土壤 N₂O 排放总量比较低,且处理间差异不显著。此外,500℃时,由王草制备的生物质炭与甘蔗渣制备的生物质炭处理间的差异不显著。700℃时,甘蔗渣制备的生物质炭对土壤 N₂O 减排效果最明显,其 N₂O 排放总量仅有 N₂O-N 233.41 µg/kg,是所有处理中最低的。

律相同。在整个培养期间,各处理土壤 NH₄⁺-N 含量逐渐降低,而 NO₃⁻-N 含量逐渐增加(图 3)。各处理土壤 NH₄⁺-N 含量与 CK 相比,除 300℃制备的糖蔗渣生物质炭处理外,其余处理差异大都不显著,而培养后期 NO₃⁻-N 含量一般以 CK 最低。

相同制备材料下,培养结束后土壤 NH₄⁺-N 含量顺序为 700℃<500℃<300℃<CK,且基本接近 0 mg/kg;培养结束时 300℃下制备的生物质炭处理,其土壤 NO₃⁻-N 含量均高于其他制备温度条件。

相同热解温度下,培养结束后王草和甘蔗渣生物质炭处理的土壤 NH₄⁺-N 含量下降速率比其他处理快,其中在培养第 5 天时,甘蔗渣生物质炭处理的土壤上升速率最快;培养结束后甘蔗渣、玉米秸秆生物质炭处理的土壤,高温下制备的生物质炭处理 NO₃⁻-N 含量最低,其中培养第 5 天时甘蔗渣生物质炭处理的土壤 NO₃⁻-N 下降速率最快。

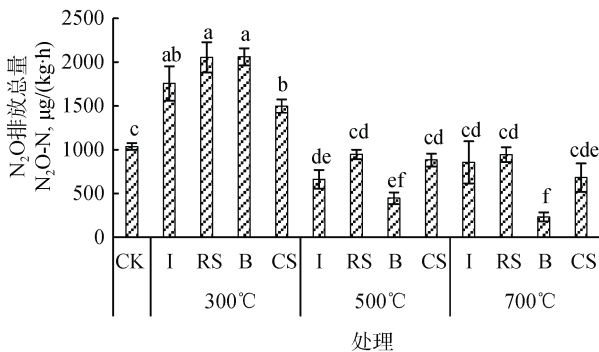


图 2 添加不同生物质炭对砖红壤 N₂O 排放总量的影响
Fig. 2 Effects of different biochars on N₂O accumulated emission of Latosol

2.3 添加生物质炭对砖红壤矿质氮含量的影响

随着培养时间的增加,各处理土壤矿质氮变化规

3 讨论

不同热解温度生成的生物质炭对砖红壤 N₂O 排放的影响不同,相较于对照,300℃生成的生物质炭促进土壤 N₂O 排放,500℃和 700℃生成的生物质炭抑制土壤 N₂O 排放。导致不同温度下生物质炭对

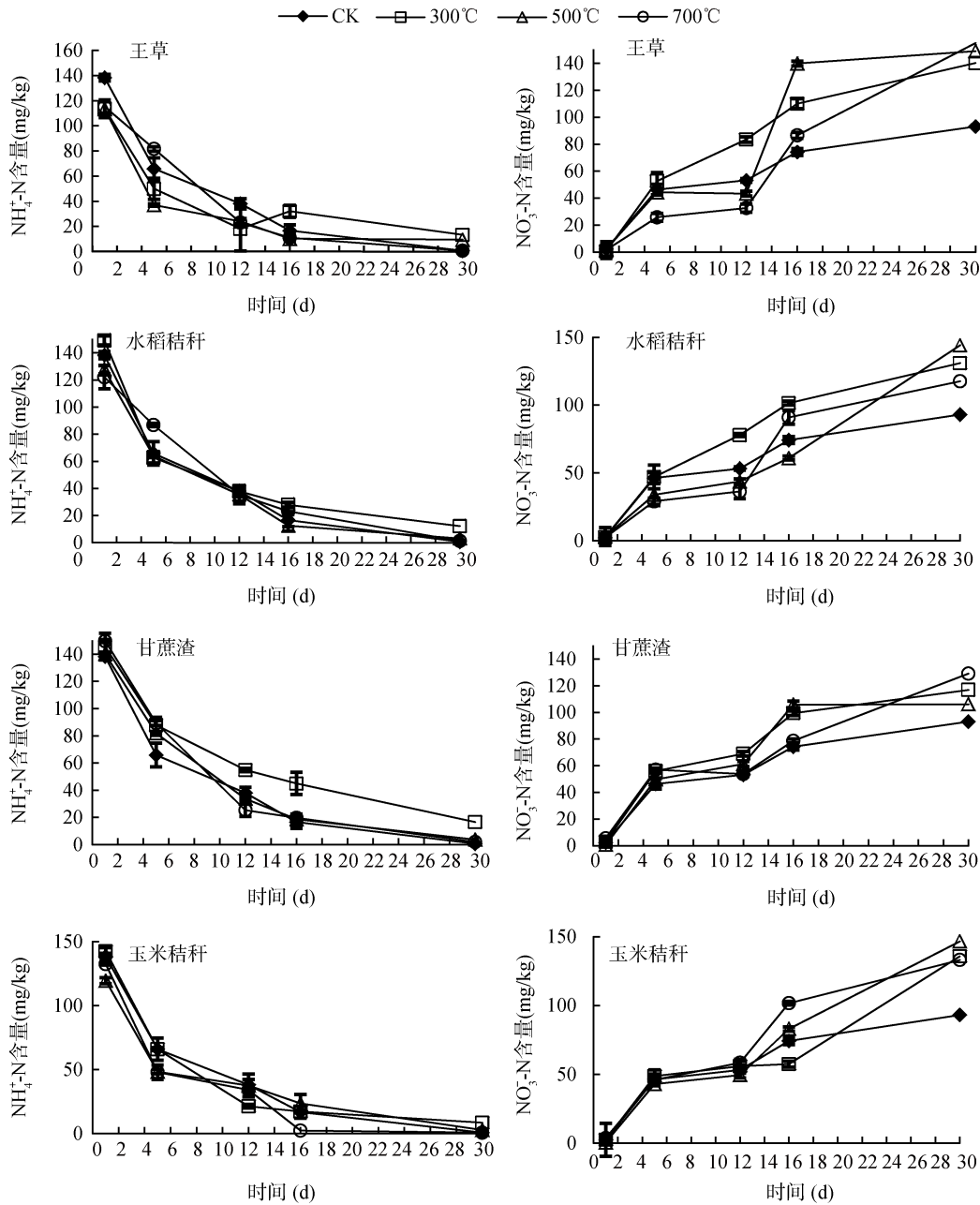


图 3 添加不同生物质炭对砖红壤矿质氮的影响

Fig. 3 Effects of different biochars on mineral nitrogen content of Latosol

土壤 N_2O 排放影响的差异的原因可能源于不同温度下生成的生物质炭性质及生物质炭对土壤性质影响的差异造成的。生物质炭的元素组成及其稳定性由生物质热解炭化温度决定,随着热解温度的升高,生物质炭的稳定性增强^[13-14]。300°C制备的生物质炭易被氧化分解^[15-16],由此可能消耗土壤中的氧气,形成易于生成 N_2O 的环境。高温下制备的生物质炭稳定性强,比表面积大,吸附性强^[17-18],自身难以分解而释放出 N_2O ^[19],且对 N_2O 可能有一定的吸附作用。另外相对低热解温度,高热解温度可能导致土壤的孔隙率增加,抑制厌氧反硝化过程^[20],最终有效地抑制了土壤中

N_2O 的排放。土壤硝化作用强烈地受土壤 pH 影响,一定范围内, pH 越高硝化速率越快^[21-24]。高温下制备的生物质炭的碱性效果更为明显一些^[25-27],从而对于中和酸性土壤的效果也更为明显(表 1)。高温制备的生物质炭显著提高了硝化作用^[20],本试验培养过程中主要为过强的硝化作用,因此不利于 N_2O 产生^[28]。

从减少 N_2O 排放考虑,甘蔗渣生物质炭的抑制效果最显著。这可能是甘蔗在榨糖过程中,大量简单碳水化合物被分离,剩下的甘蔗渣中以较稳定的碳水化合物为主。Uras 等^[29]对比了葡萄树枝、黑荆树枝和甘蔗渣制备的生物质炭之间的性质差异,发现甘蔗

渣制备的生物质炭具有较高的表面酸度、C/N 以及较低的电导和可溶性阴阳离子，有助于硝化作用，由此甘蔗渣生物质炭的施用对土壤 N₂O 排放的抑制效果最显著。从影响土壤土壤的 N₂O 排放方面考虑，建议选用甘蔗渣制备的生物质炭。

另外，生物质炭的理化性质还与制备的生物质原料有关^[30-34]。Lin 等^[35]研究发现，不同原料制备的生物质炭中的可溶性碳、钾、磷等含量存在差异，导致生物质炭对土壤性质的影响存在差异。试验中王草制备的生物质炭对土壤 pH 等性质的增加幅度最大(表 2)，因此从影响土壤理化性质方面考虑，建议选用王草制备的生物质炭。

4 结论

添加生物质炭显著增加土壤有机质、有效磷和速效钾含量，提高土壤 pH，加速土壤硝化作用进行，因此从影响土壤理化性质方面考虑，建议选用王草制备的生物质炭。4 种禾本科物料在 300℃热解温度下制备的生物质炭对土壤 N₂O 的排放有明显促进作用，而在 500℃、700℃热解温度下制备的生物质炭对土壤 N₂O 的排放有明显抑制作用，两温度下制备的生物质炭抑制效果差异大都不明显。500℃和 700℃下由甘蔗渣制备的生物质炭处理土壤的 N₂O 排放量最低，二者差异不显著，考虑到制备难度和制碳率，建议采用 500℃下生成的甘蔗渣生物质炭去实施土壤 N₂O 减排。

参考文献：

- [1] Ravishankara A R, Daniel J S, Portmann R W. Nitrous oxide (N₂O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century[J]. *Science*, 2009, 326(5949): 123-125
- [2] Kool D M, Dolfing J, Wrage N, et al. Nitrifier denitrification as a distinct and significant source of nitrous oxide from soil[J]. *Soil biology & Biochemistry*, 2011, 43(1): 174-178
- [3] Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, et al. Influence of biochars on flux of N₂O and CO₂ from Ferrosol[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2010, 48(6): 555-568
- [4] 毛新伟, 程敏, 徐秋芳, 等. 硝化抑制剂对毛竹林土壤 N₂O 排放和氨氧化微生物的影响[J]. *土壤学报*, 2016, 53(6): 1528-1540
- [5] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-A review[J]. *Biology Fertility Soils*, 2002, 35(4): 219-230
- [6] 花莉, 唐志刚, 解井坤, 等. 生物质炭对农田温室气体排放的作用效应及其影响因素探讨[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(6): 1068-1073
- [7] Richardson D, Felgate H, Watmough N, et al. Mitigating release of the potent greenhouse gas N₂O from the nitrogen cycle: Could enzymic regulation hold the key? *Trends Biotechnolo[J]*. *Trends in Biotechnology*, 2009, 27(7): 388-397
- [8] Yanai Y, Toyota K, Okazaki M. Effect of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53(2): 181-188
- [9] Scheer C, Grace P R, Rowlings D W, et al. Effect of biochar amendment on the soil-atmosphere exchange of greenhouse gases from an intensive subtropical pasture in northern New South Wales, Australia[J]. *Plant and Soil*, 2011, 345(1): 47-58
- [10] 索龙, 罗晨诚, 潘凤娥, 等. 生物质炭和秸秆添加对海南砖红壤酸性及交换性能的影响[J]. *热带生物学报*, 2015, 6(2): 1674-7054
- [11] 颜钰, 王子莹, 金洁, 等. 不同生物质来源和热解温度条件下制备的生物炭对菲的吸附行为[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(9): 1810-1816
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 16-17, 24-34
- [13] Lehmann J D, Joseph S. Biochar for environmental management: Science and technology[J]. *Science and Technology, Earthscan*, 2009, 25(1): 15801-15811
- [14] Keiluweit M, Nico P S, Johnson M G, et al. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar)[J]. *Environmental Science and Technology*, 2010, 44(4): 1247-1253
- [15] Laird D A, Fleming P, Davis D D. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2010, 158(3/4): 443-449
- [16] Ascough P L, Bird M L, Francis S M, et al. Variability in oxidative degradation of charcoal: Influence of production conditions and environmental exposure[J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 2011, 75(9): 2361-2378
- [17] Spokas K A, Reicosky D C. Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production[J]. *Annals of Environmental Science*, 2009, 3(1): 179-192
- [18] Xu Y P, Xie Z B. The effect of biochar oldification on N₂O emission on paddy soil and red soil[C]. *Biochar Research Development and Application*, Nanjing, 2011: 54
- [19] 刘玉学, 刘微, 吴伟祥, 等. 土壤生物质炭环境行为与环境效应[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 977-982
- [20] DeLuca T H, MacKenzie M D, Gundale M J, et al. Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(2): 448-453
- [21] 罗煜, 赵立欣, 孟海波, 等. 不同温度下热裂解芒草生物质炭的理化特征分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(13): 208-217
- [22] 刘若萱, 贺纪正, 张丽梅. 稻田土壤不同水分条件下硝化/反硝化作用及其功能微生物的变化特征[J]. *环境科学*, 2014, 35(1): 4275-4283

- [23] Yuan J H, Xu R K, Zhang H. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures[J]. *Bioresource Technology*, 2011, 102(3): 3488–3497
- [24] 刘雅, 刘满强, 王斌, 等. 不同肥力农田和不同林型林地红壤总硝化特征研究[J]. *土壤*, 2008, 40(6): 909–913
- [25] Lehmann J. Bio-energy in the black[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007, 5(7): 381–387
- [26] 袁金华, 徐仁扣. 稻壳制备的生物质炭对红壤和黄棕壤酸度的改良效果[J]. *生态与农村环境学报*, 2010, 26(5): 472–476
- [27] Hossain M K, Strezov V, Chan K Y, et al. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of waste water sludge biochar[J]. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92 (1): 223–228
- [28] 杨艳菊, 蔡祖聪, 张金波. 氧气浓度对水稻土 N₂O 排放的影响[J]. *土壤*, 2016, 48(3): 539–545
- [29] Uras Ü, Carrier M, Hardie A G, et al. Physic-chemical characterization of biochars from vacuum pyrolysis of South African agricultural wastes for application as soil amendments[J]. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2012, 98(6): 207–213
- [30] Enders A, Henley K, Whitman T, et al. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance[J]. *Bioresource Technology*, 2012, 114(3): 644–653
- [31] Singh B, Singh B P, Cowic A L. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2010, 48 (7): 516–525
- [32] Chan K Y, Zwieten L V, Meszaros I, et al. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2007, 45(8): 629–634
- [33] Yin C K, Xu Z. Biochar: Nutrient properties and their enhancement[M]. *Biochar for Environmental Management*, 2009: 67–84
- [34] Gaskin J W, Steiner C, Harris K, et al. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use[J]. *Transactions of the Asabe*, 2008, 51(6): 2061–2069
- [35] Lin Y, Munroc P, Joseph S, et al. Water extractable organic carbon in untreated and chemical treated biochars[J]. *Chemosphere*, 2012, 87(2): 151–157

Effects of Different Biochars on Hainan Latosol Properties and N₂O Emission

JI Yalan¹, SUO Long², XIE Yu³, WANG Xiaoqi¹, FANG Yage¹, YANG Lin¹, ZHAO Lingru¹, MENG Lei^{1*}

(1 *Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570203, China*; 2 *Fruit Technology Promotion Center of Weinan, Weinan, Shaanxi 714000, China*; 3 *Agricultural Environment and Soil Research Institute, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China*)

Abstract: Temperature and the raw materials can influence biochar properties, and biochar can affect the N₂O emission from soil. This study is to screen the biochar suitable for Latosol in Hainan. Four Hainan gramineous plant materials were selected to produce biochars under 300°C, 500°C and 700°C, respectively, and then the effects of the 12 types of biochars on Latosol properties and N₂O emission were studied with the indoor cultivation. The results showed that all biochars significantly increased soil pH value, promoted the contents of soil organic carbon, available phosphorus and rapid available potassium, and accelerated soil nitrification. Soil N₂O emission was promoted by biochars derived under 300°C but was inhibited by biochars derived under 500°C and 700°C. Among all plant materials, soil N₂O emission of bagasse biocgars derived under the pyrolysis temperature was the lowest, which is possibly due to the stable carbohydrate in the bagasse after sugar extraction. On the whole, the bagasse biochar derived under 500°C is recommended to soil improvement, which is more conducive to less N₂O emission in tropical Latosol soil.

Key words: Latosol; Raw materials; Temperature; Biochar; N₂O emission