

刘先良,邓 茂,王祥炳,等. 生物质炭施入对旱作农田土壤温室气体排放动态变化的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(8):315-319.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.08.077

生物质炭施入对旱作农田土壤温室气体排放动态变化的影响

刘先良,邓 茂,王祥炳,姚 靖,程睿韬,张永江

(重庆市黔江区生态环境监测站,重庆 409000)

摘要:通过田间大田试验,研究不同梯度生物质炭施入量[0 t/hm² (CK)、10 t/hm² (B1)、20 t/hm² (B2)、30 t/hm² (B3)]对旱作农田土壤温室气体排放的影响。结果表明,施用生物质炭对土壤温室气体排放、增温潜势(GWP)和减排的效应强度(GHGI)具有不同程度的影响,与对照CK处理相比,在生物质炭B1、B2、B3处理条件下,土壤N₂O的排放总量在2015年和2016年分别降低了24.55%~45.81%和6.97%~28.80%,处理间差异显著;CO₂-C排放量连续2年间分别提高了6.11%~22.84%和11.66%~26.02%,且在B3条件下差异显著;2015年和2016年GWP(100)与对照CK处理相比,分别降低了19.52%~46.53%和8.54%~41.42%;GHGI(CO₂+N₂O)连续2年显著降低,分别降低了19.79%~48.28%和9.44%~42.88%。综合连续2年试验结果,生物质炭施用对土壤CO₂的排放具有增加趋势,而对降低土壤N₂O排放、GWP、GHGI具有持续效应,且高用量(30 t/hm²)下生物质炭的持续效应连续2年间具有稳定性。

关键词:生物质炭;白浆土;农田温室气体;作用效应;减排

中图分类号: S156.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)08-0315-05

目前,气候变暖成为全球关注的一个热点问题。CO₂、CH₄和N₂O作为最重要的温室气体,对温室效应的贡献率占

了近80%^[1]。据不完全统计,黑龙江省秸秆总量达到6.58×10⁷ t,占东北地区秸秆产量的50%^[2]。近年来,随着农村能源结构的变化,大量秸秆或闲置或被烧掉,秸秆焚烧成为空气污染及温室气体排放的重要来源之一。生物质炭化技术为解决我国庞大的秸秆资源问题及提高农田碳汇和抑制农业温室气体排放,对缓解全球气候变化具有极为重要的意义^[3-4]。

生物质炭是指将生物质原料(农作物秸秆、畜禽粪便等)在限氧或缺氧条件下,经高温热裂解所产生的一类具有高度芳香化、含碳丰富、稳定的固态物质^[5]。生物质炭特殊的理化性质具有提高固碳减排^[6-7]、提高土壤肥力^[8]等特性。目

收稿日期:2016-12-13

基金项目:重庆市社会事业与民主保障科技创新专项(编号:cstc2015shmszx0042)。

作者简介:刘先良(1987—),男,山东临沂人,硕士研究生,工程师,主要从事环境监测与土壤农化分析工作。E-mail:827302142@qq.com。

通信作者:张永江,高级工程师,主要从事环境监测方向的研究。E-mail:1005615917@qq.com。

参考文献:

- [1] 席晋峰,俞杏珍,周立祥,等. 不同地区城郊用地土壤重金属含量特征的比较[J]. 土壤,2011,43(5):769-775.
- [2] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京:科学出版社,1996:206.
- [3] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4): 219-230.
- [4] Spokas K A, Koskinen W C, Baker J M, et al. Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil[J]. Chemosphere, 21009, 77(4): 574-581.
- [5] Lehmann J, Silva J J, Rondon M, et al. Slash-and-char: a feasible alternative for soil fertility management in the Central Amazon? [C]//Soil Science: Confronting New Realities in the 21st Century. Bangkok: 7th World Congress of Soil Science, 2002: 499.
- [6] Martínez C E, Motto H L. Solubility of lead, zinc and copper added to

mineral soils[J]. Environmental Pollution, 2000, 107(1): 153-158.

- [7] Uchimiya M, Lima I M, Thomas Klasson K, et al. Immobilization of heavy metal ions (Cu II, Cd II, Ni II, and Pb II) by broiler litter-derived biochars in water and soil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(9): 5538-5544.
- [8] 成杰民,潘根兴,郑金伟. 太湖地区水稻土pH及重金属元素有效态含量变化影响因素初探[J]. 农业环境科学学报, 2001, 20(3): 141-144.
- [9] Cui L, Pan G, Li L Y, et al. The reduction of wheat Cd uptake in contaminated soil via biochar amendment: a two-year field experiment[J]. BioResources, 2012, 7(4): 5666-5676.
- [10] Beesley L, Marniroli M. The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar[J]. Environmental Pollution, 2011, 159(2): 474-480.
- [11] Jin H P, Choppala G K, Bolan N S, et al. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals[J]. Plant and Soil, 2011, 348(1/2): 439-451.

前全球学者对于生物炭的理化性质以及将其作为固碳减排剂的研究相继展开,但目前的研究大多为模拟试验或短期的盆栽试验,针对大田的长期定位试验较少,因此,本研究通过 2 年的田间定位试验,探讨研究生物炭施入对农田温室气体(CO₂ 和 N₂O)的动态变化过程,以期为生物炭作为固碳减排剂及秸秆资源的综合利用提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

表 1 供试土壤基本理化性质

指标	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)	pH 值
白浆土	1.31	2.82	94.27	85.73	24.48	19.11	6.17

表 2 生物炭基本理化性质

指标	pH 值	含水量 (%)	有机碳含量 (g/kg)	比表面积 (m ² /g)	阳离子交换量 (cmol/kg)	全氮含量 (%)	全磷含量 (%)
生物炭	10.4	22.94	277.2	182.3	21.25	0.65	0.99

1.3 试验设计

本试验于 2015 年 4 月玉米播种前通过旋耕机将生物炭一次性深翻施入土壤中,深度为 20 cm 左右,每个小区面积 30 m² (5 m × 6 m);生物炭试验设 4 个处理,其中空白对照(CK)0 t/hm²、处理 1(B1)10 t/hm²、处理 2(B2)20 t/hm²、处理 3(B3)30 t/hm²,每个处理 3 次重复,随机放置气体收集箱。2 年试验玉米大田施肥量为:底肥施尿素 200 kg/hm²、磷酸二铵 150 kg/hm²,硫酸钾 50 kg/hm²,追肥施尿素 120 kg/hm²。2015 年、2016 年分别于 5 月 6 日、5 月 10 日播种,足墒播种,全生育期无人工灌溉,田间管理一致,分别于 10 月 9 日、10 月 6 日收获。

1.4 气体样品采集

气体取样采用静态箱法,其装置主要包括静态箱及其底座,静态箱可人工移动,底座被长期预埋田间。静态箱由 5 mm 厚的透明有机玻璃制成,规格为 30 cm × 40 cm × 100 cm;箱 4 面和顶部封闭,底部开口,箱内顶部安装一个微型风扇,顶部打孔接出风扇电源线,箱体一侧设置三通阀采气孔,用于连通三通阀便于收集气体。采样时间为 10:00—10:30,田间采样情况见图 1。将采气管与箱体连接,用箱内气体抽洗注射器 2~3 次,最后停至 0 刻度。每个取样点盖箱后立即计时,在第 0、15、30 min 分别采集气样。在采集气体时要同时测定当时气温、0~10 cm 地温以及采集箱内温度,同时要采集 0~20 cm 土壤样品并测定土壤含水量等数据。



图1 采样箱及底座

试验区位于黑龙江省农垦总局红兴隆管理局曙光农场,地理坐标为 130°17′~130°39′E,46°13′~46°23′N。农场属寒温带大陆性季风气候,气候四季分明,冬长夏短。年平均气温 3.6℃,年平均降水量 523.4 mm。

1.2 试验材料

供试土壤类型为岗地白浆土,土壤基本理化指标见表 1。本研究中田间试验所用的生物炭以玉米秸秆为原料制得,购自南京勤丰秸秆科技有限公司,在 500℃ 左右温度下经热裂解制成。试验用生物炭基本理化性质指标详见表 2。

1.5 测定指标及计算方法

土壤和生物炭的基本理化性质参照鲍士旦主编的《土壤农化分析(第三版)》进行测定。

1.5.1 CO₂ 和 N₂O 气体排放通量计算 测定采用静态箱法和气相色谱(GC)法进行测定。采集好的气体注入气体收集瓶内带回实验室于 48 h 内进行迅速测定。CO₂ 和 N₂O 排放通量计算公式如下:

$$F = \frac{M}{22.4} \times H \times \frac{dc}{dt} \times \frac{273}{(273 + T)}$$
 (1)

式中:F 表示 CO₂ 和 CH₄ 排放通量[mg C/(m² · h)]和 N₂O 排放通量[μg N/(m² · h)];M 表示 CO₂ - C、和 N₂O - N 含 C 或 N 的原子量,分别为 12 g/mol 和 28 g/mol;H 为采样箱的有效高度(m),dc/dt 为 N₂O 排放速率[nL/(L · h)],即每个小区每次 3 个时间(0、15、30 min)采集的 3 个样品的气体浓度与时间进行一次线性回归,dc/dt 是回归方程系数,T 为采样时箱内平均气温(℃)。

1.5.2 综合温室效应(GWP)测定计算 在全球增温潜势(GWP)估算中,CO₂ 看做参考气体,CH₄ 和 N₂O 排放量的增减通过 GWP 值转换成 CO₂ 等当量,100 年时间尺度上 CH₄ 和 N₂O 的全球增温潜势分别为相当于 CO₂ 的 25 倍和 298 倍。综合温室效应由公式(2)计算:

$$GWP = 25R(CH_4) + 298R(N_2O)$$
 (2)

式中:GWP 为 CH₄ 和 N₂O 的综合温室效应,R(CH₄) 和 R(N₂O)分别为玉米生长季内土壤 CH₄ 和 N₂O 的排放总量(kg/hm²)。因本试验中未测定 CH₄ 气体排放通量,故未纳入公式计算范围内。

1.5.3 温室气体排放强度(GHGI)计算 温室气体排放强度的定义为单位经济产出的温室气体排放量计算公式为:

$$GHGI = GWP/Yield$$
 (3)

式中:GHGI 为温室气体排放强度(kg CO₂/t);GWP 为 CH₄ 和 N₂O 排放的综合温室效应(kg CO₂/hm²);Yield 为玉米产量(t/hm²)。

1.6 数据处理

数据采用 Office 2007、SPSS 17.0 和 Origin Pro 8.0 进行

处理、统计分析和制作图表。

2 结果与分析

2.1 生物质炭对农田土壤 CO₂ 排放的季节动态影响

在 2015 年和 2016 年 2 年的玉米生长季期间,通过添加不同量的生物质炭,2 年间的农田土壤 CO₂ 的排放趋势基本趋于一致。2015 年,农田土壤 CO₂-C 的平均排放通量分别为: B1 相对较低,为 177.31 mg CO₂/(m²·h), B2 处理 188.44 mg/(m²·h), B3 处理 205.27 mg/(m²·h),与对照 CK[167.10 mg/(m²·h)]相比,农田土壤 CO₂ 的排放量分别增加 6.11%、12.77%、22.84%。其中 B3 处理与对照差异达到显著水平($P < 0.05$),其他处理与对照无显著差异。

从图 3 可以看出,2016 年农田土壤不同处理间农田土壤 CO₂ 的平均排放通量较 2015 年有所降低,但降低幅度较小,生物质炭添加各处理间与对照 CK 相比无显著差异。2016 年 B1、B2、B3 处理与对照 CK 相比,分别增加 11.66%、16.00%、26.02%。

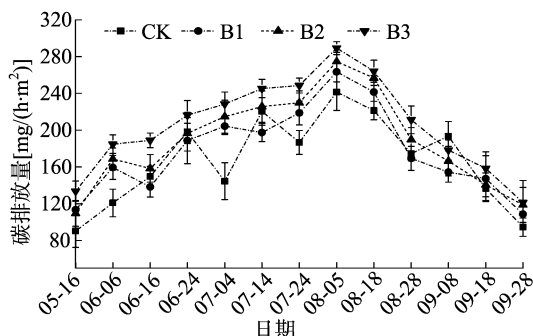


图2 生物质炭对 2015 年土壤 CO₂ 排放的季节动态变化的影响

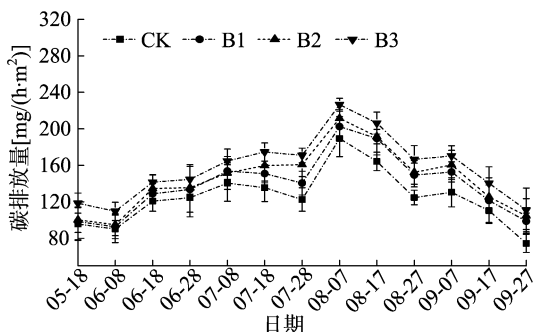


图3 生物质炭对 2016 年土壤 CO₂ 排放的季节动态变化的影响

2.2 生物质炭对农田土壤 N₂O 排放的季节动态影响

玉米生长季内 N₂O 排放动态变化如图 4、图 5 所示。不同处理下,土壤 N₂O 的排放速率随时间的变化很大,但基本变化趋势一致,排放峰值分别出现在降水和施肥后。土壤 N₂O 的排放受施肥和降水影响较大,在降水和施肥后土壤 N₂O 的释放都会增加,且施用生物质炭处理的土壤 N₂O 的排放峰值低于常规施肥(对照)处理。2015 年整个玉米生长季, B1、B2、B3 处理的 N₂O-N 平均排放通量分别为 553.41、419.81、397.48 μg/(m²·h),与对照 CK 处理[733.49 μg/(m²·h)]相比,分别降低了 4.55%、42.77%、45.81%;生物质炭的施入与对照相比显著降低了 N₂O 的排放,且以 B3 处理降低幅度最大。

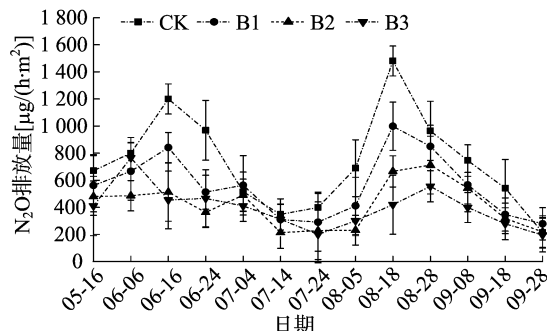


图4 生物质炭对 2015 年土壤 N₂O 排放的季节动态变化的影响

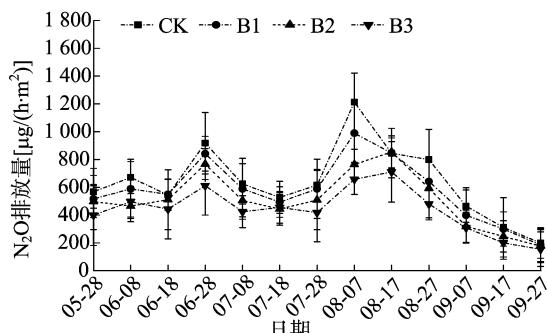


图5 生物质炭对 2016 年土壤 N₂O 排放的季节动态变化的影响

由图 5 可以看出,在 2016 年整个玉米生长季, B1、B2、B3 的处理 N₂O-N 平均排放通量分别为 579.03、511.68 和 443.15 μg/(m²·h),与对照 CK 处理[622.44 μg/(m²·h)]相比,分别降低了 6.97%、17.79%、28.80%;同对照相比,生物质炭使土壤 N₂O 排放量显著降低,但是整体效果较 2015 年生物质炭处理同期的降低幅度减少。

2.3 生物质炭对农田土壤温室气体综合排放的影响

由表 3 可以看出,与对照 CK 处理相比,在生物质炭 B1、B2、B3 的处理条件下, N₂O-N 的排放量连续 2 年显著降低, 2015 年和 2016 年分别降低了 32.54%、74.71%、84.53% 和 10.23%、24.74%、44.03%;而 CO₂-C 排放量连续 2 年均有一定程度的上升,2015 年提高了 6.11%、12.77%、22.84%, 2016 年提高了 11.66%、16.00%、26.02%;与对照处理相比,生物质炭 B1、B2、B3 处理下 GWP(100) 连续 2 年显著降低, 2015 年分别降低了 19.52%、31.09%、46.53%, 2016 年分别降低 8.54%、15.58%、41.42%。

由表 3 可知,与对照 CK 处理相比,生物质炭 B1、B2、B3 处理下 GHGI 连续 2 年显著降低,2015 年和 2016 年分别降低了 19.79%、32.12%、48.28% 和 9.44%、17.03%、42.88%。添加生物质炭改变了玉米农田生态系统的增温潜势和排放强度,在相同施肥条件下,随着生物质炭添加量的增加,2015 年和 2016 年增温潜势和排放强度依次递减, B3 处理的增温潜势和排放强度显著低于 CK 和 B1 处理。

3 讨论

3.1 生物质炭对农田土壤 CO₂ 排放的季节动态影响

影响土壤 CO₂ 排放的影响因素较多,如土壤 MG 度、养分、孔隙度、微生物量、近地表大气环流的状况等,同时生物质炭制备的温度、原料、时间也同样对土壤 CO₂ 排放存在较大

表 3 生物质炭对土壤 CO₂ 排放的总量,增温潜势 (GWP) 和温室气体排放强度 (GHGI) 的影响

年份	处理	N ₂ O - N (kg/hm ²)	CO ₂ - C (kg/hm ²)	GWP (kg/hm ²)	GHGI (kg CO ₂ /t)
2015	CK	37.46 ± 1.47c	1 248 ± 115.72a	11 165.46 ± 407.90c	926.59 ± 51.23c
	B1	34.26 ± 1.19b	1 534 ± 134.91a	10 212.22 ± 387.92c	839.13 ± 44.31b
	B2	31.62 ± 0.99a	1 760 ± 167.38a	9 425.71 ± 364.80b	768.82 ± 39.97b
	B3	21.95 ± 0.63a	1 996 ± 143.56a	6 541.28 ± 279.43a	529.23 ± 27.10a
2016	CK	49.79 ± 2.12c	1 235 ± 112.68a	14 838.88 ± 446.37c	1 250.12 ± 27.10c
	B1	40.07 ± 1.69c	1 406 ± 124.82a	11 942.11 ± 410.90b	1 002.70 ± 54.78b
	B2	34.31 ± 1.24b	1 656 ± 131.23a	10 226.05 ± 388.87b	848.63 ± 45.93a
	B3	26.62 ± 0.79a	1 897 ± 121.44a	7 933.62 ± 320.63a	646.59 ± 35.12a

注:表中同一年份同列数值后不同小写字母代表各处理间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。下表同。

影响,这些因素都交互作用于 CO₂ 的排放。Spokas 等通过研究 16 种不同生物质炭对土壤温室气体排放的影响,发现抑制 CO₂ 排放的 2 种生物质炭是由玉米秸秆在热裂解温度分别为 400,515 ℃ 下制成的^[11],而本试验所采用的生物质炭是由玉米秸秆粉碎在 500 ℃ 温度下热裂解制成,试验也获得了较一致的研究结果。Rogovska 认为,添加生物质炭能够增加土壤的呼吸速率,加快腐殖质的分解速度,从而能够促进 CO₂ 的排放,可能是由于生物质炭能够加强微生物活性,加速土壤有机质的分解^[12]。而何飞飞等研究认为,在红壤中添加生物质炭,其 CO₂ 的排放量与土壤的 pH 值、阳离子交换量 (CEC) 及土壤含水量有极显著相关性,认为 pH 值、CEC、含水量的提高有利于土壤微生物活性的提高,增加 CO₂ 的排放^[13]。

本研究中,生物质炭施入土壤后,土壤 pH 值和含水量均一定程度上升,土壤容重显著降低,增加了土壤的透气性,同时各处理间 CO₂ 排放略有浮动,试验结果得到一致性趋势。Spokas 等研究却认为是土壤微生物受到生物质炭的毒害作用,降低了微生物的活性使呼吸作用受到了抑制,从而减少了土壤 CO₂ 的排放^[14]。花莉等向土壤中添加生物质炭,发现加速了土壤中腐殖质的形成,促进了难以被土壤微生物利用的碳水化合物、酯族、芳烃等有机大分子的形成,增加土壤养分,从而减少 CO₂ 的排放^[15]。分析发现,不同学者所采用的试验材料、研究方法以及试验对象存在较大差异,对生物质炭能否真正减少土壤温室气体排放,还存在很多争议。目前主要来自实验室内优化条件下短期培养数据,缺乏田间长期定位试验数据,对生物质炭等的添加对土壤 CO₂ 排放效应及机理解

释目前并不一致,有待进一步研究。

3.2 生物质炭对农田土壤 N₂O 排放的季节动态影响

不同的环境因素和农田管理措施 (如 pH 值、土壤温度、湿度、施肥、耕作等) 相互联系和作用于旱作农田土壤 N₂O 的排放^[16]。其他的研究也表明,生物质炭较大的比表面积及较强的吸附能力,能够增加其对土壤中 NH₄⁺ - N 和 NO₃⁻ - N 的吸附,土壤中较高的 C/N 可以抑制土壤矿化 N 的量^[17],减少 N₂O 产生的基质,减少 N₂O 的排放。试验添加生物质炭后土壤容重不同程度减小,对试验结果进一步分析发现,生物质炭的添加降低了 N₂O 排放通量峰值,排放量随添加量的增加而降低;由表 4 可以看出,试验添加生物质炭后土壤容重不同程度减小,增加了土壤孔隙度,而土壤孔隙度影响土壤中氧气的供给状况,对 N₂O 的排放过程产生极为重要的影响^[18],本试验研究效果与之一致。

本试验供试土壤为弱酸性土壤,试验添加生物质炭后土壤 pH 值不同程度地增加,Yanai 等研究认为,生物质炭灰分中的碱性物质可以改变土壤的 pH 值,刺激 N₂O 还原酶的活性,减少 N₂O 排放^[19],本试验与其研究效果一致。本研究结果表明,不同处理下土壤 N₂O 的排放速率随时间的变化很大,但基本变化趋势一致,排放峰值分别出现在降雨和施肥后,且施用生物质炭处理的 N₂O 的排放峰值低于常规施肥对照处理。本研究发现,生物质炭处理对降低 N₂O 排放具有持续性,但是生物质炭 B2 处理下第一年减排效应优于次年,而 B3 处理的减排效应具有持续的稳定性。

表 4 2015 和 2016 年土壤 TN、pH 值、田间持水量和容重 (0 ~ 20 cm)

年份	处理	土壤 pH 值	田间持水量 (%)	容重 (g/cm ³)	全氮含量 (g/kg)
2015	CK	6.32 ± 0.01c	22.43 ± 0.09c	1.36 ± 0.04c	1.61 ± 0.02c
	B1	6.63 ± 0.03bc	24.84 ± 0.07c	1.30 ± 0.06bc	1.63 ± 0.07c
	B2	6.84 ± 0.03bc	25.31 ± 0.11bc	1.24 ± 0.02b	1.68 ± 0.08ba
	B3	7.75 ± 0.04a	27.03 ± 0.09a	1.21 ± 0.03b	1.72 ± 0.05a
2016	CK	6.35 ± 0.06c	22.31 ± 0.11c	1.38 ± 0.03c	1.60 ± 0.03c
	B1	6.73 ± 0.07bc	23.29 ± 0.13c	1.31 ± 0.07bc	1.61 ± 0.02c
	B2	6.91 ± 0.03b	25.46 ± 0.08bc	1.26 ± 0.04b	1.67 ± 0.03ba
	B3	7.88 ± 0.03a	26.77 ± 0.10a	1.22 ± 0.05b	1.73 ± 0.01a

3.3 生物质炭对农田土壤温室气体综合排放的影响

全球增温潜势 (global warming potential, GWP) 是一个相对辐射强迫指数,玉米农田 GWP 和 GHGI 主要由 CO₂ 贡献,

随着时间尺度的延长及大量 N 肥的持续施用,N₂O 对旱作春玉米农田综合温室效应的贡献率可能进一步上升,主要是因为 N₂O 在大气中存活时间较长,并且其全球增温潜势也远高

于 CO_2 。本研究结果表明,添加生物质炭对土壤温室气体排放具有显著影响。与对照(CK)处理相比,生物质炭 B1、B2、B3 处理下 GWP(100)和 GHGI 连续 2 年显著降低,添加生物质炭改变了玉米农田生态系统的增温潜势和排放强度,在相同施肥条件下,随着生物质炭施用量的增加,2015 年和 2016 年增温潜势和排放强度依次递减。

分析原因可能有 2 个主要方面:第一,添加生物质炭改变了较适宜春玉米生长的土壤 C/N 比;第二,生物质炭中的碳粒子具有较高的阳离子交换量(CEC),所以具有较强吸附能力,提高了对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 养分的吸收,同时也抑制了土壤氮的矿化。施加生物质炭后,由于不同种类土壤在质地、水分含量、通气状况、温度、作物类型等方面的差异,均会造成 N_2O 和 CO_2 排放变化的差异。生物质炭施用对旱作农田温室气体排放的影响究竟如何,需要进一步进行长期的田间定位监测,为准确评价生物质炭对旱作农田土壤温室气体排放影响积累更加丰富和代表性的数据,同时也为生物质炭还田大面积推广应用提供一定科学依据。

4 结论

施用生物质炭对土壤温室气体、GWP 和 GHGI 均有显著影响,且 2 年间具有持续的效应。2015 年,农田土壤 $\text{CO}_2 - \text{C}$ 的平均排放通量在 B3 处理下 CO_2 的排放总量与对照达到显著差异水平($P < 0.05$),其他处理与对照无显著差异;2016 年农田土壤不同处理间农田土壤的 CO_2 平均排放通量较 2015 年有所降低,但降低幅度较小,生物质炭添加各处理间与对照 CK 处理相比无显著差异。连续 2 年施用生物质炭均显著降低了土壤 N_2O 排放、GWP 和 GHGI,且随着施用量的增加效果愈明显,但次年对农田土壤 CO_2 的排放没有显著性影响。综合连续 2 年试验结果,生物质炭对 CO_2 排放的影响具有年际波动性,而对于降低土壤 N_2O 排放、GWP 和 GHGI 具有持续效应,且高用量生物质炭 B3 效应在连续 2 年里具有持续性和稳定性。

参考文献:

- [1] 张玉铭,胡春胜,张佳宝,等. 农田土壤主要温室气体(CO_2 、 CH_4 、 N_2O)的源/汇强度及其温室效应研究进展[J]. 中国生态农业学报,2011,19(4):966-975.
- [2] 蔡亚庆,仇焕广,徐志刚. 中国各区域秸秆资源可能源化利用的潜力分析[J]. 自然资源学报,2011(10):1638-1646.
- [3] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review[J]. Biology and Fertility of Soil,2002,35(4):219-230.
- [4] Sanchez M E, Lindao E, Margaleff D, et al. Pyrolysis of agricultural residues from rape and sunflowers: production and characterization of bio-fuels and biochar soil management[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,2009,85(1/2):142-144.

- [5] Özçimen D, Ersoy M A. Characterization of biochar and bio-oil samples obtained from carbonization of various biomass materials[J]. Renewable Energy,2010,35(6):1319-1324.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 王宁,侯艳伟,彭静静,等. 生物炭吸附有机污染物的研究进展[J]. 环境化学,2012,31(3):287-295.
- [9] Liang B Q, Lehmann J, Sohi S P, et al. Black Carbon affects the cycling of non-black carbon in soil[J]. Organic Geochemistry,2010(41):206-213.
- [10] Clough T J, Bertram J E, Ray J L, et al. Unweathered wood biochar impact on nitrous oxide emissions from a Bovine-Urine-Amended pasture soil[J]. Soil Science Society of America Journal,2010,74(3):852-860.
- [11] Spokas K, Bogner J, Chanton J P, et al. Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? [J]. Waste Management,2006,26(5):516-525.
- [12] Rogovska N, Fleming P, Laird D, et al. Greenhouse gas emissions from soils as affected by addition of biochar[C]. International Annual Meetings ASA CSSA SSSA,2008.
- [13] 何飞飞,荣湘民,梁运珊,等. 生物炭对红壤菜田土壤理化性质和 N_2O 、 CO_2 排放的影响[J]. 农业环境科学学报,2013,32(9):1893-1900.
- [14] Spokas K A, Koskinen W C, Baker J M, et al. Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil[J]. Chemosphere,2009,77(4):574-581.
- [15] 花莉,金素素,唐志刚. 生物质炭输入对土壤 CO_2 释放影响的研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(11):6501-6503.
- [16] 李平,郎漫. 硝化和反硝化过程对林地和草地土壤 N_2O 排放的贡献[J]. 中国农业科学,2013,46(22):4726-4732.
- [17] Cayuela M L, Oenema O, Kuikman P J, et al. Bioenergy by-products as soil amendments? Implications for Carbon sequestration and greenhouse gas emissions [J]. Global Change Biology Bioenergy,2010,2(4):201-213.
- [18] Hansen S, Bakken L R. N_2O , CO_2 and O_2 concentrations in soil air influenced by organic and inorganic fertilizers and soil compaction [J]. Norwegian Journal of Agricultural Sciences,1993,7:1-10.
- [19] Yanai Y, Toyota K, Okazaki M. Effects of charcoal addition on N_2O 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.
- [20] Cavigelli M A, Robertson G P. Role of denitrifier diversity in rates of nitrous oxide consumption in a terrestrial ecosystem[J]. Soil Biology and Biochemistry,2001,33(3):297-310.