

程效义, 刘晓琳, 孟 军, 等. 生物炭对棕壤 NH_3 挥发、 N_2O 排放及氮肥利用效率的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(4):801-807.

CHENG Xiao-yi, LIU Xiao-lin, MENG Jun, et al. Effects of biochar on NH_3 volatilization, N_2O emission and nitrogen fertilizer use efficiency in brown soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(4):801-807.

生物炭对棕壤 NH_3 挥发、 N_2O 排放及氮肥利用效率的影响

程效义, 刘晓琳, 孟 军, 兰 宇, 刘遵奇, 杨 旭, 黄玉威, 曹 婷, 陈温福*

(沈阳农业大学/辽宁省生物炭工程技术研究中心, 沈阳 110866)

摘要:通过田间试验,采用封闭式酸吸收法和静态箱法,研究秸秆生物炭对棕壤玉米旱田 NH_3 挥发和 N_2O 排放以及氮肥利用效率的影响。试验设不施氮肥(对照 CK)、单施氮肥(NB0)、施氮基础增施 $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭(NB20)、施氮基础增施 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭(NB40)4个处理。结果表明,各施肥处理的 NH_3 挥发量差异显著,表现为 $\text{NB0} > \text{NB20} > \text{NB40}$, NB20和NB40分别比NB0降低24.07%和37.62%。NB20和NB40可显著降低 N_2O 排放量,分别比NB0降低21.76%和19.57%,而NB20和NB40之间差异不显著。NB20和NB40显著增加了土壤的pH、全氮和有机碳含量,降低了土壤的容重。相关分析表明, NH_3 挥发量与土壤容重和铵态氮含量均呈极显著正相关,与土壤有机碳含量呈显著负相关; N_2O 排放量与土壤容重呈显著正相关,与土壤硝态氮含量和有机碳含量呈显著负相关。与NB0相比, NB20提高了氮肥利用效率,玉米产量显著提高6.07%,而NB40降低了氮肥利用效率,玉米产量显著降低了13.88%。

关键词:生物炭; NH_3 挥发; N_2O 排放; 氮肥利用效率

中图分类号: X712 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2016)04-0801-07 doi:10.11654/jaes.2016.04.026

Effects of biochar on NH_3 volatilization, N_2O emission and nitrogen fertilizer use efficiency in brown soil

CHENG Xiao-yi, LIU Xiao-lin, MENG Jun, LAN Yu, LIU Zun-qi, YANG Xu, HUANG Yu-wei, CAO Ting, CHEN Wen-fu*

(Shenyang Agricultural University, Biochar Engineering Technology Research Center of Liaoning Province, Shenyang 110866, China)

Abstract: A field experiment was conducted to investigate the effects of biochar on NH_3 volatilization, N_2O emission, and N fertilizer use efficiency in brown soil by acid absorption and static chamber method. Four treatments, including no N fertilizer (CK), N fertilizer (NB0), N fertilizer with $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ biochar (NB20) and N fertilizer with $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ biochar (NB40), were designed. Results showed that: Compared with NB0, NH_3 volatilization in NB20 and NB40 decreased by 24.07% and 37.62%, respectively, while N_2O emission in these two treatments reduced by 21.67% and 19.57%, with no significant difference between them; Soil bulk density was decreased, but soil pH, total nitrogen and organic carbon content were increased in NB20 and NB40; A significant positive correlation existed between NH_3 volatilization and soil bulk density or ammonium nitrogen concentration, and between N_2O emission and soil bulk density, whereas a negative correlation between NH_3 volatilization and organic carbon content, and between N_2O emission and nitrate-nitrogen concentration or organic carbon content; NB20 increased N fertilizer use efficiency and maize yield by 6.07%, while NB40 decreased the yield by 13.88%, as compared with NB0.

Keywords: biochar; NH_3 volatilization; N_2O emission; N fertilizer use efficiency

收稿日期: 2015-11-15

基金项目: 科技支撑课题“年产3万吨生物质炭基材料技术研究与产业化示范”(2014BAD02B06-02); 公益性行业(农业)科技专项“秸秆移动床热解炭化多联产关键技术研究及示范”; 辽宁省教育厅优秀人才培养计划

作者简介: 程效义(1985—), 男, 黑龙江依兰人, 博士研究生, 主要从事生物炭应用与土壤改良。E-mail: cxy_beyond@126.com

* 通信作者: 陈温福 E-mail: wfchen0512@126.com

中国是世界上氮肥施用最多的国家^[1],然而,农田氮肥的利用效率却仅为30%~35%^[2]。农田中大量的氮素通过 NH_3 和 N_2O 等气态的形式逸散于大气中或以离子态随水淋溶到耕层以下,不仅造成资源的浪费,而且导致大气污染、土壤酸化、水体富营养化等诸多生态环境问题^[3-6]。我国每年约有26%的氮肥以气态损失^[7]。有研究表明,施肥灌水后,土壤 NH_3 挥发和 N_2O 排放速率迅速增加,12 d内 N_2O 和 NH_3 的排放总量最大分别可达 $150 \text{ gN}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $2.465 \text{ kgN}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[8]。生物炭是黑炭的一种,是由生物质在缺氧条件下不完全燃烧所产生的炭质^[9]。研究表明,将生物炭混入土壤,不仅可以提高作物的产量^[10-12],而且可有效减少 N_2O 的排放和 NH_3 的挥发,促进农业减排^[13-15]。Rondon等^[14]将生物炭混入牧草地和种植大豆的土壤中,发现两种土壤的 N_2O 排放分别降低了80%和50%。Taghizadeh等^[16]以 $30 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的标准将生物炭施入牧场土壤中,发现 N_2O 的排放降低了70%,并认为生物炭对 NH_3 的吸收作用可能是降低 N_2O 排放的一个主要原因。近期,Baronti^[17]研究发现,生物炭与畜禽堆肥混合施入土壤,可降低土壤的 NH_3 挥发损失50%以上,直接证明了生物炭对土壤 NH_3 挥发具有抑制作用。然而,Scheer等^[18]认为生物炭对 N_2O 排放并没有抑制作用。Yanai等^[19]研究发现,当土壤的孔隙含水量为83%时,生物炭促进 N_2O 排放。杨帆等^[20]认为生物炭加入稻田土和红壤后提高了土壤pH,引起 NH_3 挥发量的显著增加。这些研究由于土壤类型、生物炭性质以及施用条件的不同,研究结果不尽相同。本文以典型棕壤土为研究对象,探究玉米秸秆生物炭对棕壤旱田 NH_3 挥发和 N_2O 排放及氮肥利用效率的影响,以期评价生物炭对棕壤氮素的气态损失和环境安全的综合效应提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于辽宁省沈阳市沈阳农业大学试验基地。该区属松辽平原南部的中心地带,温带湿润半湿润季风气候,年降雨量约为710 mm,无霜期160 d左右,土壤类型为棕壤,属发育在第四纪黄土性母质上的筒育湿润淋溶土,容重 $1.21 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,pH7.6(水土比为2.5:1),有机质 $18.82 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $84.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $15.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $158.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

采用大田试验,共设4个处理:不施氮肥(对照

CK);单施氮肥(NB0);施氮基础增施 $20 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物炭(NB20);施氮基础增施 $40 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物炭(NB40)。所有处理磷钾肥作为底肥一次性施用,施氮肥的处理在播种前将氮肥均匀撒施于小区内部,后期不再追肥。所用化肥为尿素、过磷酸钙和硫酸钾,用量折合为纯养分分别为 $\text{N } 160 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5 70 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O } 80 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。生物炭制备原料为玉米秸秆,由辽宁金和福农业开发有限公司提供。播种前将生物炭均匀撒施于土壤表面,用旋耕机将其与氮肥一并均匀混合于20 cm耕层土壤当中。每个处理采用3次重复,随机区组排列,小区面积为 $60 \text{ m}^2(6 \text{ m}\times 10 \text{ m})$,玉米种植密度为 $5.95 \text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$,穴距0.28 m,行距0.6 m,种植10行。供试品种为玉米杂交种郑单958,于5月17日播种,6月1号出苗,9月29日收获,作物生长期进行常规田间管理。

1.3 测定指标及方法

NH_3 挥发的田间原位测定采用封闭式硼酸吸收法。收集装置采用白色PVC自制收集罩,高40 cm,底面直径为35 cm。 NH_3 的收集间隔采用前紧后松的方式,直到各处理与对照的 NH_3 挥发量一致。收集气体同时取0~20 cm耕层土壤,带回实验室用 $2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钙溶液浸提,流动注射分析仪(德国Seal-AA3)测定铵态氮和硝态氮的含量。

N_2O 气体收集采用密闭箱法。密闭箱采用特制的透明有机玻璃罩,高40 cm,底面积 $1600 \text{ cm}^2(40 \text{ cm}\times 40 \text{ cm})$,顶部有抽气的小孔,内置小风扇和温度计。取气前将玉米齐根砍掉,以玉米为中心压入土壤中,并在周围覆土,防止空气进入,每小区并排放置三个装置。每次取样时间为上午的9:00—11:00,每隔15 min采样一次,共采集3次,每次取气50 mL,放入气袋中保存。采集气体时记录土壤温度和箱内温度。 N_2O 的收集间隔亦采用前紧后松的方式,直到玉米收获。 N_2O 样品采用GC-7890A型气相色谱仪(美国安捷伦公司)分析测定。柱箱温度 $60 \text{ }^\circ\text{C}$, μECD 检测器工作温度为 $300 \text{ }^\circ\text{C}$,载气为He,尾吹气为5% Ar- CH_4 混合气,采用定量六通阀进样,进样量为1 mL。测定前用 N_2O 含量为 $0.32 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的标准气体校正仪校准。 N_2O 排放通量参考梁国庆等^[21]提供的方法计算。

肥料氮 NH_3 挥发损失率=(NH_3 累计挥发量-CK处理的 NH_3 累计挥发量)/肥料带入的氮素含量

肥料氮 N_2O 排放损失率=(N_2O 排放总量-CK处理的 N_2O 排放总量)/肥料带入的氮素含量

肥料氮的利用效率=(作物吸收氮素-CK处理作

物吸收氮素)/肥料带入的氮素含量

2 结果与分析

2.1 生物炭对土壤NH₃挥发的影响

土壤的NH₃挥发速率如图1a所示。未施氮肥的CK处理土壤的NH₃挥发速率一直保持较低水平,介于0.038~0.065 mgN·m⁻²·h⁻¹之间。施氮肥显著增加了NH₃挥发速率,施氮肥后第2 d,NB0、NB20和NB40三个处理的NH₃挥发速率逐渐增高,排放峰出现在施肥后第4 d,此后逐渐降低,在第14 d NH₃挥发速率与CK接近。施肥的基础上增施生物炭能降低土壤的NH₃挥发速率,与NB0处理相比,NB20和NB40处理的NH₃挥发速率的峰值下降29.65%和36.89%。土壤NH₃挥发主要发生在施肥后14 d内,分析NH₃累计挥发量(图1b)可知,CK的NH₃累计挥发量为0.179 kgN·hm⁻²,NB0、NB20和NB40三个处理的NH₃累计挥发量分别为2.843、2.159、1.774 kgN·hm⁻²,处理间差异显著。与NB0处理相比,NB20和NB40的NH₃累计挥发量分别减少24.075%和37.621%。

2.2 生物炭对土壤N₂O排放的影响

土壤的N₂O排放通量如图2a所示。整个玉米的

生长季内,未施氮肥的CK处理的N₂O排放通量较低,介于4.361~10.763 μgN·m⁻²·h⁻¹之间,且无明显的排放峰。施氮肥显著增加了N₂O的排放通量,NB0、NB20和NB40三个处理的N₂O排放通量变化规律均表现为先增加后降低的趋势,前期迅速增加,施肥后第8 d后出现峰值,分别为65.542、52.013、58.805 μgN·m⁻²·h⁻¹,随后迅速降低,后期呈小幅度的上下波动趋势。整个生长季NB0、NB20和NB40三个处理的平均N₂O排放通量分别为16.970、13.062、13.937 μgN·m⁻²·h⁻¹。分析土壤的N₂O排放总量(图2b)可知,CK的N₂O排放总量为0.164 kgN·hm⁻²,NB0、NB20和NB40三个处理的N₂O排放总量分别为0.359、0.282、0.289 kgN·hm⁻²。与NB0相比,NB20与NB40处理的N₂O排放总量显著减少21.76%和19.57%,但NB20与NB40处理之间无显著差异。

2.3 NH₃挥发和N₂O排放与土壤理化性质的相关性

分析收获后土壤理化性质(表1)可知,单施氮肥对土壤的pH、容重、全氮和有机碳含量无显著影响,与CK相比,NB0处理的容重、全氮含量增加,而pH、有机碳含量降低,但其差异不显著。而施氮肥的基础上增施生物炭对土壤的理化性质影响较大。NB20和

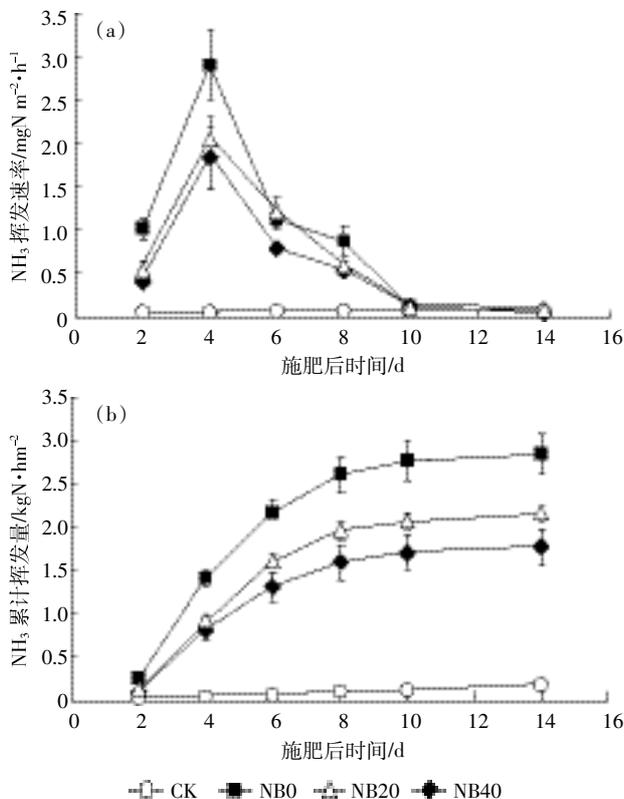


图1 土壤NH₃挥发速率(a)和累计挥发量(b)

Figure 1 Rate (a) and total amount (b) of NH₃ volatilization in soil

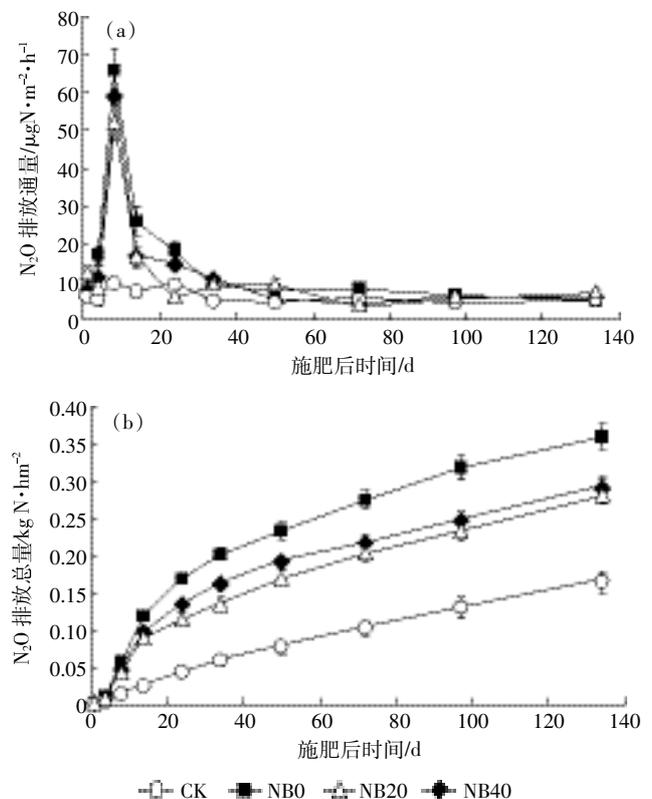


图2 土壤N₂O排放通量(a)和排放总量(b)

Figure 2 Flux (a) and total amount (b) of N₂O emissions in soil

NB40 处理显著提高了土壤的 pH, 分别比 NB0 处理提高 4.08% 和 6.20%, 而 NB20 和 NB40 之间差异不显著。土壤的全氮含量和土壤的有机碳含量均表现为 NB40>NB20>NB0, 处理间差异显著, NB20 和 NB40 处理土壤的全氮含量分别比 NB0 提高 3.78% 和 9.09%, 有机碳含量分别提高 23.85% 和 35.80%。与 NB0 相比, NB20 和 NB40 均能显著降低土壤的容重 9.09% 和 16.53%。

表 1 生物炭对土壤理化性质的影响

Table 1 Effects of biochar on physical and chemical properties of brown soil

处理	pH	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	有机碳/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
CK	7.61±0.11b	1.20±0.03a	1.29±0.02c	16.74±0.87c
NB0	7.58±0.07b	1.21±0.02a	1.32±0.01c	15.22±0.01c
NB20	7.89±0.12a	1.10±0.04b	1.37±0.02b	18.85±0.54b
NB40	8.05±0.22a	1.01±0.01c	1.44±0.03a	20.67±0.41a

注:不同的小写字母表示差异达 5% 显著水平,下同。

Note: Different small letters mean significance at 0.05 levels, the same as follow.

土壤 NH_3 挥发和 N_2O 排放与土壤矿质氮密切相关, 本研究跟踪监测了土壤的铵态氮和硝态氮含量的动态变化, 结果见图 3。整个玉米生育期, 与 NB0 相比, NB20 和 NB40 处理土壤硝态氮平均含量分别提高 31.71% 和 33.16%, 铵态氮平均含量降低 30.02% 和 36.14%, 而 NB20 和 NB40 处理间差异不显著。

对比分析可知, 未施氮肥的 CK 处理土壤铵态氮和硝态氮含量一直较低, 呈升高与降低交替的波动变化。对于 NB0、NB20 和 NB40 三个施氮肥处理, 在施氮肥后, 土壤铵态氮含量迅速升高, 到第 4 d 各处理达到峰值, 随后逐渐下降, 到第 14 d 与 CK 处理持平, 此阶段尿素迅速分解, 氮素代谢作用较强, 促进 NH_3 挥发和 N_2O 排放。土壤硝态氮的增长则滞后于铵态氮, 于第 8 d 达到峰值, 此后略有下降, 且呈先升高后降低的变化趋势。

分析施炭条件下土壤铵态氮和硝态氮含量与土壤 NH_3 挥发和 N_2O 排放的相关关系(表 2)发现, NH_3 累计挥发量与土壤铵态氮含量呈极显著正相关关系($R=0.870$)。 N_2O 的排放总量与硝态氮呈显著负相关关系($R=-0.727$), NH_3 累计挥发量和 N_2O 的排放总量还与容重呈显著正相关关系($R=0.968, 0.857$), 与土壤的有机碳呈显著负相关关系($R=-0.899, -0.643$)。

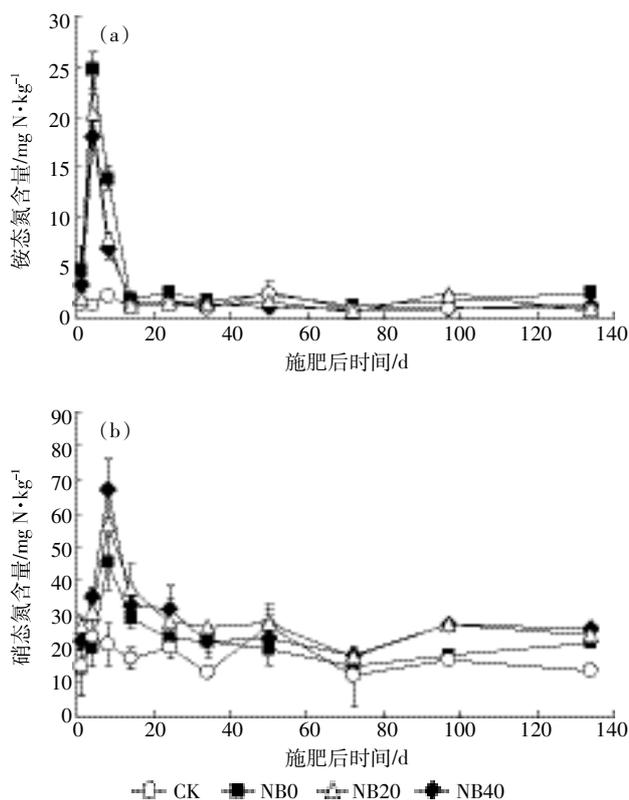


图 3 土壤铵态氮(a)和硝态氮(b)含量变化

Figure 3 Dynamics of ammonium N(a) and nitrate N(b) in soil

表 2 施炭后土壤理化性质与 NH_3 挥发和 N_2O 排放的相关分析

Table 2 Correlation coefficient between soil physiochemical properties and NH_3 volatilization and N_2O emissions

	氮素损失/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	pH	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	有机碳/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	铵态氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	硝态氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
NH_3 累计挥发量	-0.617	0.968**	-0.889*	0.870**	-0.273	
N_2O 排放总量	-0.567	0.857*	-0.643*	0.342	-0.727*	

注: * 表示相关达到显著水平($P<0.05$); ** 表示相关达到极显著水平($P<0.01$)。

Note: * indicates significant difference at $P<0.05$; ** indicates very significant difference at $P<0.01$.

2.4 生物炭对玉米产量与氮肥利用效率的影响

施肥可以显著提高玉米的产量, 施肥的基础上施入适量的生物炭可进一步提高玉米的产量(表 3)。施氮处理 NB0、NB20 和 NB40 的玉米产量显著高于 CK, NB20 比 NB0 产量显著提高 6.07%, 而 NB40 比 NB0 产量显著降低 13.88%。不同处理间玉米对氮素的吸收利用差异显著, NB0、NB20 和 NB40 处理的作物吸氮量均显著高于 CK, NB20 比 NB0 的作物吸氮量显著提高 5.59%, 而 NB40 比 NB0 的作物吸氮量显著降低 15.32%。氮肥利用效率随着生物炭用量的增

表3 玉米产量与氮肥利用效率

Table 3 Rates of nitrogen losses from fertilization

处理 Treatment	产量/t·hm ⁻²	作物吸氮量/ kg·hm ⁻²	NH ₃ 累计挥发量/ kg·hm ⁻²	肥料氮 NH ₃ 挥发 损失率/%	N ₂ O 排放总量/ kg·hm ⁻²	肥料氮 N ₂ O 排放 损失率/%	肥料氮的利用 效率/%
CK	5.932±0.092d	104.261±4.092d	0.179±0.019d	—	0.165±0.014c	—	—
NB0	10.215±0.325b	177.357±4.874b	2.843±0.227a	1.665	0.359±0.017a	0.121	45.685
NB20	10.835±0.117a	187.283±3.649a	2.159±0.084b	1.237	0.282±0.024b	0.079	51.888
NB40	8.797±0.296c	150.190±7.891c	1.774±0.203c	0.996	0.289±0.013b	0.077	28.705

加呈现先增加后降低的趋势,与NB0相比,NB20的氮肥利用效率提高6.21%,而NB40下降16.97%。

从NH₃累计挥发量和N₂O排放总量及其肥料氮损失率(表3)分析,整个生长季NB0、NB20和NB40处理的气态氮素损失(NH₃和N₂O)总量分别为3.202、2.238、1.851 kgN·hm⁻²,与NB0相比,NB20和NB40分别减少由NH₃挥发和N₂O排放而导致的氮素损失30.106%和42.192%。NB0、NB20和NB40处理肥料氮素的NH₃挥发损失率分别为1.665%、1.237%和0.996%,而肥料氮素的N₂O排放损失率分别为0.121%、0.079%和0.077%。与NB0相比,NB20和NB40处理最高可以分别节省肥料0.47%和0.713%。

3 讨论

本研究表明,生物炭可以减少土壤的NH₃挥发,降低N₂O排放,且随着生物炭用量的增加,土壤NH₃挥发量随之减小,而N₂O排放量未受影响。土壤氮素的气态损失主要有两个来源,一个是土壤中原来残留的氮素,另一个是施入的氮肥。本实验不考虑氮肥的激发效应,因而来自土壤残留氮素的NH₃挥发量等于不施氮小区的挥发量,施氮小区来自肥料的NH₃便可由总挥发量与不施肥小区的差值来估算,同样可以得到来自肥料的N₂O的排放损失量。本研究发现,生物炭显著降低肥料氮素的NH₃挥发损失和N₂O排放损失,与单施氮肥相比,20 t·hm⁻²和40 t·hm⁻²生物炭处理可分别节省肥料0.47%和0.71%。适量的生物炭(20 t·hm⁻²)对玉米产量具有促进作用,且提高玉米对氮素的吸收,增加玉米对氮肥的利用效率;而40 t·hm⁻²生物炭用量对产量产生明显的抑制作用,影响玉米对氮素的吸收,降低氮肥的利用效率。这种低量生物炭增产、高量生物炭减产的现象与Baronti等^[17]对黑麦草的研究结果一致,他们认为造成这种现象的原因是生物炭改变了土壤的酸碱性。本研究中,造成这一现象的原因可能与试验当年环境气候变化密切相关,当年春季严重干旱,40 t·hm⁻²生物炭处理显著降

低了土壤的容重(1.01 g·cm⁻³),有可能过度增加了土壤的通气性,不利于保墒,致使高量生物炭处理玉米出苗不齐而严重缺苗,最终导致单位面积有效穗数少、产量低。另外,生物炭施入土壤后,土壤碱性提高,40 t·hm⁻²生物炭处理的pH已经达到8,可能对玉米的生长造成一定影响,最终导致减产。

本试验中氮肥均为一次性施入,NH₃挥发特征曲线和N₂O排放曲线均只有一个明显的排放峰,与肥料在土壤中的转化关系很大。为了明确生物炭的减排机理,对土壤的铵态氮和硝态氮含量以及相关土壤理化性质进行了分析。结果表明,生物炭可提高土壤pH、全氮含量和有机碳的含量,降低土壤的容重。相关分析表明,NH₃挥发损失量与土壤的铵态氮含量和容重呈极显著正相关关系,与有机碳呈显著负相关关系;N₂O的排放量与容重呈显著正相关关系,与土壤的硝态氮含量和有机碳含量呈显著负相关关系。有研究表明,土壤的NH₃挥发量与土壤铵态氮浓度呈正比例关系,与土壤溶液中的铵态氮和硝态氮总浓度呈动态平衡^[22]。本研究中,生物炭处理显著降低了土壤的铵态氮含量,可能是导致生物炭处理NH₃挥发减少的原因之一。生物炭具有强大的表面吸附性能,对NH₄⁺具有吸附作用^[23],另外生物炭表面存在酸性的官能团,能吸附土壤中的NH₃^[24],从而减少了土壤中NH₃的挥发损失。生物炭降低N₂O排放的机理可能与其影响土壤硝化与反硝化作用密切相关。在硝化细菌的作用下,土壤溶液中的NH₄⁺被氧化为NO₃⁻,且伴随产生少量的N₂O,与此同时,部分NO₃⁻会经反硝化作用生成N₂O或N₂。一方面生物炭降低了土壤中铵态氮的含量,降低了硝化作用的底物,减少N₂O排放的机会,另一方面,生物炭本身具有较大的孔隙结构,施入土壤后降低土壤的容重,有效地改善原本黏重的棕壤,增加土壤通气性和氧气含量,减少厌氧细菌的数量,从而抑制反硝化作用^[25],减少N₂O的排放。另外,也可能由于生物炭中的萜类和乙烯等物质抑制了硝化和反硝化作用^[26]。也有研究认为生物炭的施入导致土壤

pH 提高, 增强了 N_2O 还原酶活性, 从而促进更多的 N_2O 还原为 N_2 , 使得 N_2O 的排放减少^[19]。

4 结论

向棕壤中添加生物炭能够改善土壤的理化性质, 影响土壤的硝化与反硝化过程, 间接地影响土壤 NH_3 挥发与 N_2O 排放, 减少土壤氮素以 NH_3 和 N_2O 形式的气态损失, 同时增加了作物产量, 不仅节省了肥料, 提高氮肥利用效率, 而且对环境起到了保护作用。但是, 有关生物炭对土壤硝化和反硝化过程的影响机制以及对相关微生物的影响, 还有待进一步深入研究探讨。

参考文献:

- [1] 中国农业年鉴编委会. 2004 年中国农业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 187-192.
Editorial Board of China Agriculture Year Book. The year book of China agriculture for 2004[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2005: 87-92.
- [2] 朱兆良, 张福锁. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 39-46.
ZHU Zhao-liang, ZHANG Fu-suo. Basic research on N behavior and the efficient use of N fertilizer in main fields of the ecological system[M]. Beijing: Science Press, 2010: 39-46.
- [3] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
ZHU Zhao-liang. Loss of fertilizer N from plants-soil system and strategies and techniques of its reduction[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(1): 1-6.
- [4] 张玉铭, 胡春胜, 张佳宝, 等. 太行山前平原农田生态系统氮素循环与平衡研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 5-11.
ZHANG Yu-ming, HU Chun-sheng, ZHANG Jia-bao, et al. Nitrogen cycling and balance in agricultural ecosystem in piedmont plain of Taihang Mountains[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(1): 5-11.
- [5] 巨晓棠, 刘学军, 邹国元, 等. 冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素的损失途径分析[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1493-1499.
JU Xiao-tang, LIU Xue-jun, ZOU Guo-yuan, et al. Evaluation of nitrogen loss way in winter wheat and summer maize rotation system[J]. *Scientia Agricultural Sinica*, 2002, 35(12): 1493-1499.
- [6] 陈新平, 张福锁. 小麦-玉米轮作体系养分资源综合管理理论与实践[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 103-110.
CHEN Xin-ping, ZHANG Fu-suo. Maize rotation system integrated nutrient management theory and practice[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2006: 103-110.
- [7] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China—contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 63: 117-127.
- [8] 李鑫, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 不同施肥方式对土壤 NH_3 挥发和 N_2O 排放的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 99-104.
LI Xin, JU Xiao-tang, ZHANG Li-juan, et al. Effects of different fertilization modes on soil ammonia volatilization and nitrous oxide emission[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 99-104.
- [9] 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.
CHEN Wen-fu, ZHANG Wei-ming, MENG Jun, et al. Researches on biochar application technology[J]. *Engineering Sciences*, 2011, 13(2): 83-89.
- [10] Kishimoto S, Sugiura G. Charcoal as a soil conditioner[J]. *International Achievements for the Future*, 1985(5): 12-23.
- [11] Iswaran V, Jauhrik S, Sen A, et al. Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1980, 12(2): 191-192.
- [12] 唐光木, 葛春辉, 徐万里, 等. 施用生物黑炭对新疆灰漠土肥力与玉米生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1797-1802.
TANG Guang-mu, GE Chun-hui, XU Wan-li, et al. Effect of applying biochar on the quality of grey desert soil and maize cropping in Xinjiang, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(9): 1797-1802.
- [13] Lehmann J, Silva J P, Steiner C, et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon Basin: Fertilizer manure and charcoal amendments[J]. *Plant and Soils*, 2003, 249: 343-357.
- [14] Rondon M A, Lenmann J, Ramirez J, et al. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43: 699-708.
- [15] 彭华, 纪雄辉, 吴家梅, 等. 生物黑炭还田对晚稻 CH_4 和 N_2O 综合减排影响研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1620-1625.
PENG Hua, JI Xiong-hui, WU Jia-mei, et al. Integrated effect of decreasing CH_4 and N_2O emission by biochar incorporated to paddy field on late rice[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(11): 1620-1625.
- [16] Taghizadeh T A, Clough T J, Sherlock R R, et al. Biochar adsorbed ammonia is bioavailable[J]. *Plant and Soil*, 2012, 350: 57-69.
- [17] Baronti S, Alberti G, Genesio. Effects on soil fertility and on crops production[C]//2nd International Biochar Conference IBI September. UK: Newcastle-Gateshead, 2008: 698-703.
- [18] Scheer C, Grace P R, Rowlings D W, et al. Effect of biochar amendment on soil-atmosphere exchange of greenhouse gases from an intensive subtropical pasture in Northern New South Wales[J]. *Australia Plant and Soil*, 2011, 345: 47-58.
- [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: 181-188.
- [20] 杨帆, 李飞跃, 赵玲, 等. 生物炭对土壤 NH_3 氮转化的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(5): 1016-1020.
YANG Fan, LI Fei-yue, ZHAO Ling, et al. Influence of biochar on the transformation of ammonia nitrogen in soils[J]. *Journal of Agro-Envi-*

ronment Science, 2013, 32(5):1016-1020.

- [21] 梁国庆, 周卫, 夏文建, 等. 优化施氮下稻-麦轮作体系土壤N₂O排放研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2):304-311.

LIANG Guo-qing, ZHOU Wei, XIA Wen-jian, et al. Effect of optimized nitrogen application on N₂O emission from paddy field under wheat-rice rotation system[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2):304-311.

- [22] Diekmann K H, Datta S K D, Ottow J C. Nitrogen uptake and recovery from urea and green manure in lowland rice measured by ¹⁵N and non-isotope techniques[J]. *Plant and Soil*, 1993, 148:91-99.

- [23] 邢英, 李心清, 周志红, 等. 生物炭对水体中铵氮的吸附特征及其动力学研究[J]. 地球与环境, 2011, 39(4):511-515.

XING Ying, LI Xin-qing, ZHOU Zhi-hong, et al. Adsorption and kinetics of ammonium from aqueous medium onto biochar[J]. *Earth and Environment*, 2011, 39(4):511-515.

- [24] Kastner J R, Miller J, Das K. Pyrolysis conditions and ozone oxidation effects on ammonia adsorption in biomass generated chars[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 164:1420-1427.

- [25] Cavignelli M A, Robertson G P. Role of denitrifier diversity in rates of nitrous oxide consumption in a terrestrial ecosystem[J]. *Soil Biol-Biochem*, 2001, 33:297-310.

- [26] Spokas K A, Reicosky D C. Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production[J]. *Annals of Environmental Science*, 2009, 3:179-193.



有机农业(第二版)

乔玉辉、曹志平 主编

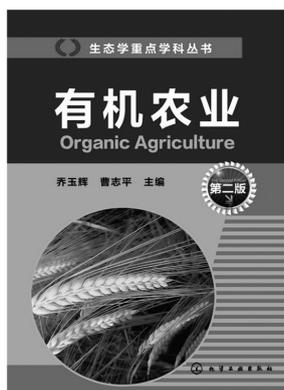
本书共分十二章,按有机产品“从田间到餐桌”的顺序编写,分别介绍了有机农业的发展历史、现状与展望;有机农业生产的前期准备,包括有机农业对产地环境、有机农业生产投入物质的要求;有机农业的生产过程中土壤培肥和植物保护等方面的技术要求;几种代表性的粮食、蔬菜、水果和畜禽的有机生产技术;有机食品的收获后管理、食品安全,以及对加工、运输过程的特殊要求;国际有机农业的标准体系、有机食品认证以及有机产品的贸易与市场;最后对有机农业课程的实习提出了一些方案与建议,并介绍了国内外知名有机农场的案例。

※书号:9787122251190

※定价:49.8元

※开本:16

※出版日期:2016年1月



再生有色金属行业污染防治技术与案例

李艳萍、乔琦、陈伟 等编著

本书通过对再生金属行业的发展现状、主要环境问题以及影响要素的识别和评估,建立我国再生金属行业环境污染防治污染源清单和主要污染物产排污系数。该书对再生铜、再生铝、再生铅和再生锌通过元素流分析,进行全系统源追踪,通过再生金属典型工艺冶炼过程重金属污染产生和排放种类、关键节点、形态和扩散途径的数据和特征,识别和评估重金属污染在各个产污和排污环节的污染贡献率,分析典型工艺过程重金属的物质流向、流量和流态等几个方面,分析重金属污染的特征。

※书号:9787122257758

※定价:85.0元

※开本:16

※出版日期:2015年12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。