

师倩云, 李雪松, 孟延, 等. 加入不同比例黄土对粪肥碳、氮养分保蓄的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(5): 999–1005.

SHI Qian-yun, LI Xue-song, MENG Yan, et al. Effects of loess additions on carbon and nitrogen retention in manures[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(5): 999–1005.

加入不同比例黄土对粪肥碳、氮养分保蓄的影响

师倩云^{1,2}, 李雪松^{1,2}, 孟延^{1,2}, 蔡苗^{1,2}, 周建斌^{1,2*}

(1.西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:采用室内培养方法研究了加入不同比例黄土对猪粪、牛粪两种粪肥培养过程中碳、氮养分保蓄及养分含量的影响。结果表明:加入黄土后猪粪 CO₂ 和 NH₃ 释放量显著降低,碳、氮保蓄率高于未加黄土处理;加入黄土后牛粪 NH₃ 释放量显著降低,氮素保蓄率提高,而碳素保蓄率无明显变化,这与牛粪碳氮比相对较高,水溶性物质含量低,且较难分解的纤维素和半纤维素含量高,相对难以分解有关。随着黄土加入量的增加,土粪中各养分含量逐渐降低,这与加入黄土对粪肥养分的稀释作用有关。可见,加入适量黄土对减少粪肥分解过程中温室气体排放,保蓄粪肥碳、氮养分有重要作用。

关键词:黄土;家畜粪肥;碳氮养分;养分损失

中图分类号:S153.6 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2016)05-0999-07 doi:10.11654/jaes.2016.05.026

Effects of loess additions on carbon and nitrogen retention in manures

SHI Qian-yun^{1,2}, LI Xue-song^{1,2}, MENG Yan^{1,2}, CAI Miao^{1,2}, ZHOU Jian-bin^{1,2*}

(1.College of Natural Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China; 2.Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China)

Abstract: With rapid development of animal production in China, more and more manures have been generated. Nutrient losses from the manures result in severe environmental problems. Therefore, how to conserve nutrients in the manures deserves further study. An incubation experiment was carried out to examine the influence of adding different rates of loess on CO₂ and NH₃ emissions from two manures (pig manure & cow manure) and retention capacities of carbon and nitrogen in the manures. Results showed that the addition of loess significantly reduced the emissions of CO₂ and NH₃ gases from pig manure, and increased C and N retention in the pig manure. For cow manure, adding loess reduced the NH₃ emissions during the incubation, whereas it did not affect CO₂ emissions. Such different effects of loess on CO₂ emissions between two manures were due to the differences in manure properties. Compared with pig manure, cow manure was higher in cellulose and semi-cellulose and in C/N ratios, but lower in soluble substances, thus having very slow decomposition rates. However, increased addition of loess might reduce the content of nutrients in the mixture because of dilution effect. It is concluded that adding loess to manures has positive roles in reducing greenhouse gas emissions, and nutrient losses.

Keywords: loess; animal manure; carbon and nitrogen; nutrient loss

近年来,随着我国养殖业的迅速发展,产生了大量有机肥,其处置不当带来了突出的环境问题,包括

农业面源污染、温室效应气体释放等^[1-4]。因此,如何减少畜禽粪肥堆置过程的养分损失成为我国农业生产中面临的突出的环境问题。我国劳动人民在长期的农业生产中在粪肥利用方面积累了丰富的技术及经验,挖掘这些技术及经验的科学意义,对于解决目前面临的问题具有重要的参考价值。

我国北方地区特别是黄土高原地区,在养殖过程

收稿日期:2015-11-09

基金项目:国家自然科学基金项目(31372137);国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAD15B04)

作者简介:师倩云(1990—),女,山西临汾人,硕士研究生,主要从事土壤碳累积及转化方面的研究。E-mail:shiqianyun90@163.com

*通信作者:周建斌 E-mail:jzbzhou@nwsuaf.edu.cn

中通常会给畜禽圈舍加入黄土为主的垫圈材料,一方面保持了畜圈的干燥清洁,利于畜禽健康;另一方面,加入的黄土可以保蓄粪肥的养分,也防止粪肥直接施用因养分浓度过高带来的烧苗现象^[5-6]。前人对黄土垫圈这一传统措施的保蓄氮素养分及增产效果^[7]等进行了不少研究,发现纯猪粪堆肥堆积一个半月后保蓄氮素仅70%,而猪粪1:2加土混拌后保蓄氮素达87%左右^[8],其保蓄机理与加入土壤充分混拌后黄土对铵离子的吸附作用有关^[9]。对加入黄土对粪肥中碳素养分的研究相对较少,而粪肥堆置过程中释放的CO₂是重要的温室效应气体^[10-12],粪肥加入黄土后改变了粪肥的物理、化学及生物等特性,无疑会对其有机物分解释放CO₂产生影响。因此,比较加入不同比例黄土对粪肥碳、氮养分保蓄的影响具有重要的意义。本试验以猪粪、牛粪为研究对象,采用室内好气培养的方法,研究了加入不同比例黄土后这两种粪肥CO₂、NH₃的释放规律,旨在评估黄土垫圈在保蓄粪肥碳、氮养分的作用。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试黄土为采自陕西杨凌的黄土母质,其基本性状为:有机碳2.6 g·kg⁻¹,无机碳146.2 g·kg⁻¹,全氮0.3 g·kg⁻¹,速效磷11.3 mg·kg⁻¹,速效钾101.3 mg·kg⁻¹,pH 7.9。土样采回后风干、过2 mm筛,备用。供试的新鲜猪粪和牛粪采自西北农林科技大学畜牧站,其基本理化性质见表1。

1.2 试验设计及方法

以上述两种粪肥为研究对象,采用室内好气培养法研究粪肥加入不同比例黄土后,培养过程中CO₂、NH₃释放及养分含量等的变化。粪肥与黄土分别按

1:0、1:1、1:2、1:3及1:5比例混合,同时设置相应重量黄土培养作为对照,共计15个处理(表2),每处理重复3次。

试验按照相应比例分别将猪粪、牛粪鲜样与风干黄土混匀,置于100 mL小培养瓶中,同时准备2个分别装有NaOH(20 mL, 2 mol·L⁻¹)和H₃BO₃(20 mL, 20 g·L⁻¹)的小瓶,用于吸收各处理释放的CO₂和NH₃。将上述3个小瓶均置于密闭的750 mL广口塑料瓶中^[13],于25℃的恒温培养箱中培养。纯粪肥保持其初始含水量,其余处理调节含水量为30%左右。在培养的第1、3、5、7、9、13、17、21、25、30、35 d测定各处理CO₂释放量,第1、3、5、7、9、13、17、25、35 d测定各处理NH₃释放量。每次测定结束后,更换CO₂和NH₃吸收液并用称重法补充相应水分。

1.3 测定项目及计算方法

有机肥以及土壤有机碳、全氮、全磷、全钾等指标均采用常规方法测定^[14]。

CO₂采用碱液吸收法^[15]测定:向盛有NaOH吸收液的瓶中加入1 mol·L⁻¹的BaCl₂溶液20 mL,使吸收的CO₂完全沉淀,再用2 mol·L⁻¹的HCl滴定剩余NaOH,利用差减法计算CO₂释放量。

NH₃用H₃BO₃溶液吸收,吸收液中加入甲基红-溴甲酚绿指示剂,摇匀,用0.01 mol·L⁻¹的HCl滴定,通过HCl消耗量计算NH₃释放量。

各处理粪肥CO₂释放量=粪肥黄土混合物CO₂释放量-对应重量黄土处理CO₂释放量

各处理粪肥NH₃释放量=粪肥黄土混合物NH₃释放量-对应重量黄土处理NH₃释放量

各处理粪肥碳素保蓄率=培养结束后有机碳含量/培养初期有机碳含量

表1 供试粪肥基本理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of manures

粪肥 Manure	有机碳 Organic carbon/g·kg ⁻¹	全氮 Total N/g·kg ⁻¹	全磷 Total P/g·kg ⁻¹	全钾 Total K/g·kg ⁻¹	含水率 Water content/%	C/N	pH
猪粪 PM	351.4	25.6	9.0	12.2	69.1	13.7	8.3
牛粪 CM	459.7	27.2	8.1	15.3	81.0	16.9	8.7

表2 试验设计方案

Table 2 Experimental design

处理 Treatment	猪粪 PM					牛粪 CM					对照 CK				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
粪肥 Manure/g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0
黄土 Loess/g	0	10	20	30	50	0	10	20	30	50	0	10	20	30	50

各处理粪肥氮素保蓄率=培养结束后全氮含量/培养初期全氮含量

样品矿质态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$)、可溶性有机碳(DOC)的测定:培养结束后,各处理称取5g样品用 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 K_2SO_4 浸提(水土比4:1), $220\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 振荡1h后过滤,连续流动分析仪测定 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,总有机碳分析仪测定DOC。其余样品风干过筛后测定有机质、全氮含量。

1.4 数据处理方法

利用Excel软件进行数据统计,Sigmaplot作图,SAS统计软件进行分析。

2 结果与分析

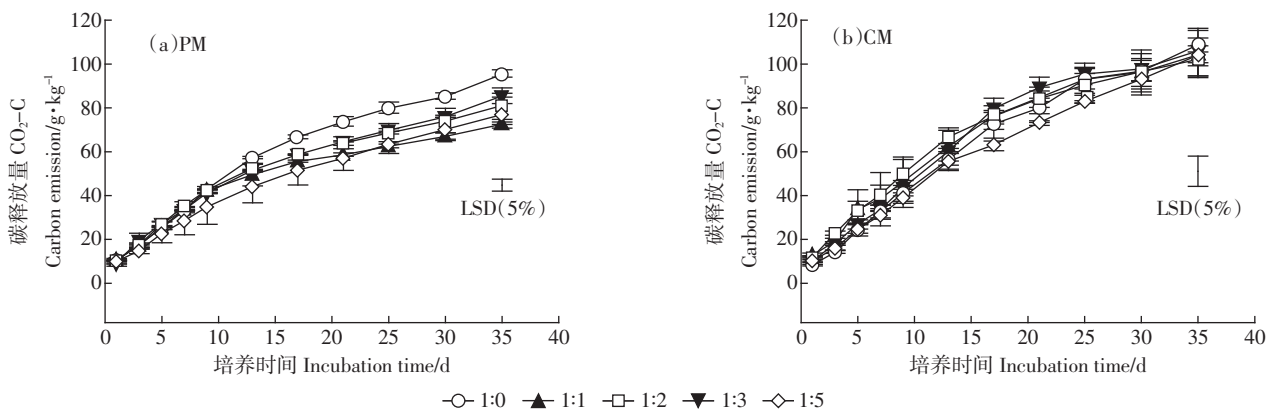
2.1 不同处理 CO_2 释放动态

图1显示,各处理粪肥 CO_2 累积释放量均随培养时间的延长而不断增加且增幅呈逐渐降低趋势。与未

加黄土相比,培养结束时(35d)猪粪加黄土处理培养过程中 CO_2 释放量显著降低($P<0.05$),按1:1和1:5加入黄土处理的 CO_2 释放量分别为 72.8 、 $77.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,较未加黄土猪粪 CO_2 释放量($95.7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)分别降低了23.9%和19.3%;猪粪加入黄土的四个处理 CO_2 释放量无显著差异(图1a)。加入黄土对牛粪 CO_2 累积释放量无显著影响(图1b)。

2.2 不同处理 NH_3 释放动态

随培养时间的延长,各处理粪肥 NH_3 释放累积量均不断升高(图2)。培养结束时(35d),与未加黄土对照相比,加入黄土后猪粪 NH_3 释放量均显著降低($P<0.05$),且随加入黄土量的增加,猪粪 NH_3 释放量显著降低(图2a);1:5处理 NH_3 释放量最低,为 $267.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,比未加黄土猪粪 NH_3 释放量($3187.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)下降了91.6%。加不同比例黄土后,牛粪 NH_3 释放规律与猪粪类似(图2b),但其 NH_3 的释放量低于猪粪;



图中比例代表新鲜有机肥重量:黄土重量,不同处理差异显著性用LSD(5%)表示。下同

Ratio means fresh manure weight:loess weight. The significance of differences between treatments is shown as LSD(5%). The same below

图1 加入不同比例黄土粪肥碳累积释放量动态变化

Figure 1 Dynamics of cumulative carbon release amount from manure amended with different amount of loess

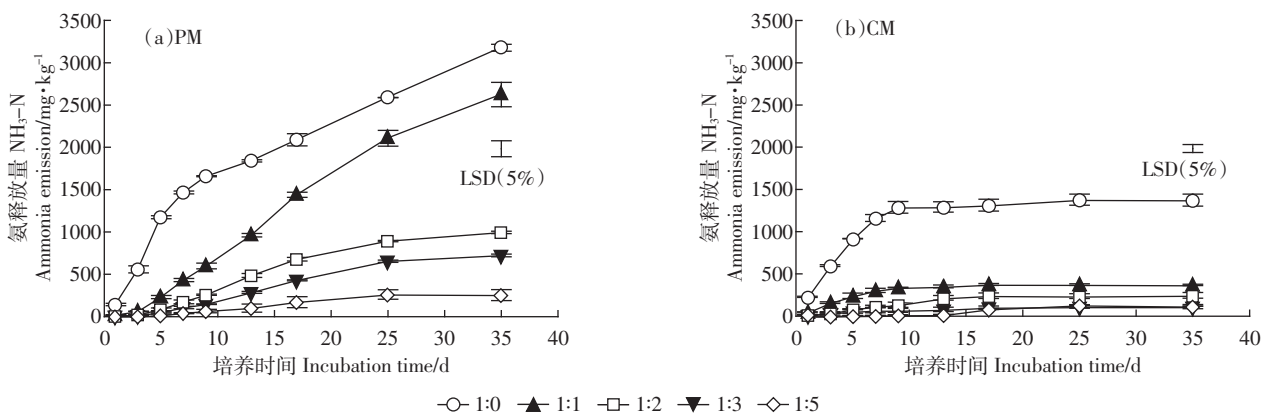


图2 加入不同比例黄土粪肥氨气累积释放量动态变化

Figure 2 Dynamics of cumulative ammonia release amount from manure amended with different amount of loess

不同处理相比,以 1:3 和 1:5 处理 NH_3 释放量最低,分别为 113.1、118.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,较未加黄土牛粪 NH_3 释放量(1 373.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)分别降低了 91.8%和 91.4%。

2.3 不同处理总有机碳、全氮、DOC、矿质态氮含量

如表 3 所示,与未加黄土相比,加黄土后各处理的有机碳、全氮、可溶性有机碳、铵态氮的含量显著降低($P<0.05$),且随加入黄土比例的增加,上述各指标也呈降低的趋势。猪粪加入黄土后各处理硝态氮的含量显著高于纯猪粪处理,其中以 1:2 处理硝态氮含量最高;牛粪加入黄土各处理相比,以 1:1 处理硝态氮含量最高,1:2 和 1:3 处理与纯牛粪处理相比硝态氮含量无显著差异。

2.4 不同处理粪肥碳、氮保蓄率

培养结束时(35 d)猪粪加入黄土后碳素保蓄率高于未加入黄土处理(图 3a),随黄土加入量增加,猪

粪碳素保蓄率有所提高,其中 1:5 处理碳素保蓄率较未加黄土处理差异显著($P<0.05$)。可见,加入黄土对猪粪碳素保蓄有一定作用。短期培养内加入黄土对牛粪碳素保蓄率则无显著影响(图 3b)。

培养结束时(35 d),加入黄土后猪粪氮素保蓄率高于纯猪粪,其中 1:3 和 1:5 处理氮素保蓄率达 95%(图 4a),与纯猪粪处理相比差异显著($P<0.05$)。与纯牛粪相比,加入黄土提高了牛粪氮素保蓄率(图 4b),其中 1:3 处理氮素保蓄率显著高于未加黄土的处理。由此可见,粪肥中加入黄土对其氮素保蓄有一定作用。

3 讨论

3.1 加入黄土对粪肥养分保蓄效应及机理

本研究发现,黄土加入后显著降低了猪粪 CO_2 的释放量,增加了猪粪碳的保蓄率,而对牛粪 CO_2 的释

表 3 不同处理有机碳、全氮、可溶性有机碳及矿质态氮含量

Table 3 TOC, TN, DOC, and mineral-N content in different treatments

粪肥 Manure	处理(粪肥:黄土) Treatment(Manure:loess)	有机碳 TOC/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	全氮 TN/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	可溶性有机碳 DOC/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{NH}_4\text{-N}/$ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{NO}_3\text{-N}/$ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
猪粪 PM	1:0	250.33±31.60a	20.47±0.86a	8.33±0.33a	2 043.42±165.14a	4.31±1.82d
	1:1	70.05±3.73b	5.24±0.38b	1.13±0.05b	565.97±16.47b	120.16±17.00c
	1:2	40.59±1.45bc	3.09±0.02c	0.77±0.09bc	186.21±6.30c	402.50±23.01a
	1:3	29.55±0.42c	2.52±0.03cd	0.48±0.08cd	126.05±7.06c	267.28±16.36b
	1:5	19.73±0.28c	1.68±0.06d	0.30±0.03d	4.96±1.40c	152.82±14.69c
牛粪 CM	1:0	357.06±4.35a	22.86±0.17a	3.22±0.10a	660.32±72.20a	185.72±15.63b
	1:1	62.59±3.47b	4.20±0.21b	0.76±0.08b	9.20±2.11b	465.57±9.72a
	1:2	35.91±0.44c	2.57±0.20c	0.62±0.10b	4.94±1.54b	243.39±5.94b
	1:3	24.75±0.63d	2.04±0.01d	0.39±0.06b	3.56±0.32b	147.48±8.14bc
	1:5	15.70±0.86e	1.33±0.06e	0.30±0.04b	3.88±0.79b	3.13±0.14c

注:同一列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters within a column mean significant difference ($P<0.05$).

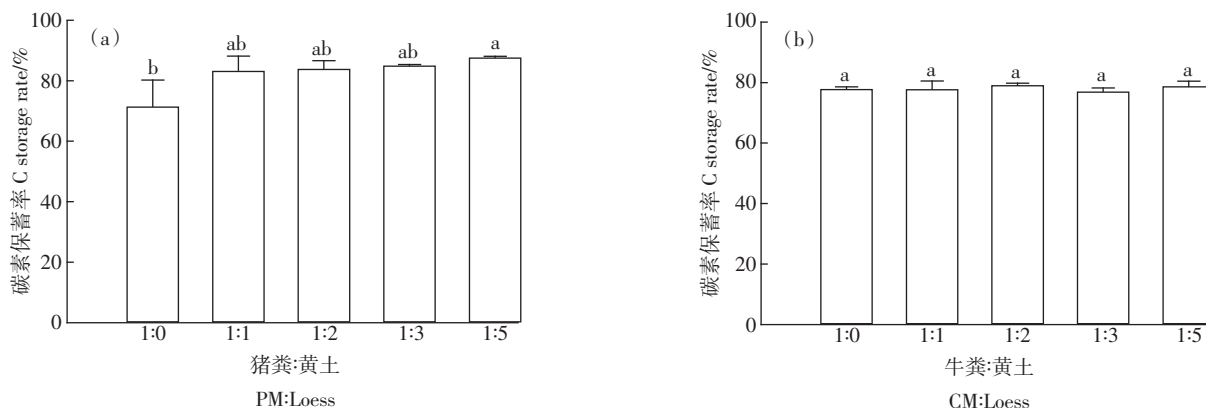


图 3 粪肥加入不同比例黄土后碳素保蓄率

Figure 3 Carbon retention capacity of manures amended with different amount of loess

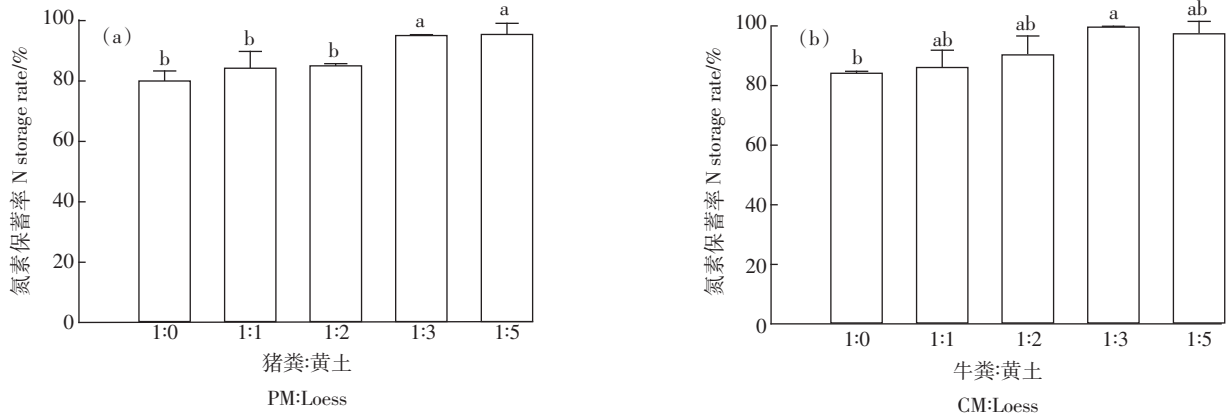


图4 粪肥加入不同比例黄土后氮素保蓄率

Figure 4 Nitrogen retention capacity of manures amended with different amount of loess

放及碳的保蓄率无显著影响。这可能与两种粪肥的性质差异有关。与猪粪相比,牛粪碳氮比相对较高,水溶性物质含量低(表3),而较难分解的纤维素和半纤维素含量高^[16-18],因此牛粪养分释放缓慢,加入黄土对其碳的释放无显著影响。一些研究发现^[19-21],土壤中原有的非晶形铁、铝氧化物可以与有机碳形成铁、铝-有机质生物稳定复合体,是酸性土壤有机碳稳定的主要机制。本试验所用的黄土含有较多钙离子,钙-有机质是否会形成较稳定的复合体,进而降低猪粪分解过程中CO₂的释放,增加碳素保蓄能力还有待进一步研究。

畜禽养殖产生的粪肥是农业生产向大气释放氨的主要来源^[22-23]。本研究发现,加入黄土后显著降低了两种粪肥氨挥发,这与前人的研究结果一致^[8]。加入黄土后粪肥氨挥发量降低的原因可能包括:(1)黄土粒径颗粒比表面积大,增加了对粪肥中氨的吸附作用^[24];(2)黄土与粪肥混合后,稀释了粪肥铵态氮的浓度,如表3所示,两种粪肥加入黄土后铵态氮含量较未加入黄土粪肥铵态氮含量显著降低;(3)黄土的加入改善了粪肥的物理性状,促进了微生物的繁殖及硝化作用的进行^[25-26]。由本研究结果可以看出,加入黄土这一传统保蓄粪肥养分的措施在降低粪肥氨挥发方面具有显著效果。本研究同时发现,加入黄土对猪粪及牛粪两种粪肥碳释放及保蓄能力的影响有别于氮素,除与两种粪肥的性质差异有关外(表1),也与粪肥碳、氮分解的产物不同有关,即粪肥碳代谢的产物为CO₂,而氮代谢的产物为铵离子,前者易从土壤中逸出,而后者易被黄土吸附。

从历史的角度看,我国农业生产中采用黄土垫圈的做法可有效保蓄粪肥的养分,减少了粪肥中氨向大气的释放;同时也在一定程度上降低了CO₂这一温室

效应气体向大气中的排放。因此,对以一家一户为主要养殖方式的一些农村,仍应提倡加入黄土这一传统的保蓄养分的方式。对大规模的养殖方式而言,加入黄土这一传统的方法工作量大、操作难度大,可借鉴向粪肥中加入黄土的这一思路,辅以添加其他吸附能力强的制剂(如沸石等)的方法,以减少粪肥存放与堆置过程中碳、氮养分的挥发损失。

3.2 加入黄土对粪肥养分含量变化的影响

本研究表明,随着黄土加入量的增加,土粪有机碳、全氮、可溶性有机碳及矿质氮含量均降低(表3),这与加入黄土对粪肥所含养分的稀释作用有关,黄土加入保蓄养分与过量加入降低粪肥养分含量是矛盾的两个方面。从本研究氮素保蓄效果看,随加入黄土比例的增加,两种有机肥氮素的保蓄率均呈增加的趋势,其中两种粪肥与黄土比例为1:3时氮素的保蓄率与未加黄土处理的差异显著。但加入黄土量过多,会降低土粪养分含量,进而影响其肥效。改革开放前,黄土高原地区一些生产单位或农户向畜禽圈舍大量加入黄土,一些土粪黄土的比例高达90%,导致土粪养分含量降低,这也就是当时存在的“黄土搬家”问题^[27-28],增加了生产的用工量反而降低了土粪养分含量。为解决这一问题,研究人员提出利用作物秸秆或其他植物残体与有机肥堆置的方法,降低了用工量,提高了有机肥质量^[29-30]。

随着黄土加入量的增加,土粪中硝态氮含量的变化有别于其他养分含量的变化(表3),呈先增加后减少的趋势。黄土加入量低时,土粪中硝态氮含量的增加,与加入黄土后改善了粪肥的通气状况^[8],促进了其硝化作用有关;而随着黄土加入量的增加,黄土的稀释作用降低了土粪中硝态氮的含量。

4 结论

加入黄土显著降低了猪粪及牛粪培养过程中氨的累积释放量,以及猪粪 CO₂ 的累积释放量,而对牛粪 CO₂ 的累积释放量无显著影响,说明我国北方地区农业生产中采用黄土垫圈的做法不仅保蓄了养分,还降低了 CO₂ 这一温室效应气体向大气中的排放。随黄土添加量的增加,土粪有机碳、全氮、可溶性有机碳及矿质氮含量均降低,这与加入黄土对粪肥所含养分的稀释作用有关。

虽然添加黄土这一传统的保蓄粪肥养分的方法在现代大规模养殖中实施起来有一定的难度,但采用黄土这一便捷的材料保蓄粪肥养分的思路在提倡环保的今天无疑仍有借鉴价值。

参考文献:

- 秦莉,沈玉君,李国学,等.不同 C/N 比对堆肥腐熟度和含氮气体排放变化的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(12):2668-2673.
QIN Li, SHEN Yu-jun, LI Guo-xue, et al. The impact of composting with different C/N on maturity variation and emission of gas concluding N[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12): 2668-2673.
- 黄向东,韩志英,石德智,等.畜禽粪便堆肥过程中氮素的损失与控制[J].应用生态学报,2010,21(1):247-254.
HUANG Xiang-dong, HAN Zhi-ying, SHI De-zhi, et al. Nitrogen loss and its control during livestock manure composting[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(1): 247-254.
- Jiang T, Schuchardt F, Li G X, et al. Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2011, 23(10): 1754-1760.
- 姜继韶,黄懿梅,黄华,等.猪粪秸秆高温堆肥过程中碳氮转化特征与堆肥周期探讨[J].环境科学学报,2011,31(11):2511-2517.
JIANG Ji-shao, HUANG Yi-mei, HUANG Hua, et al. Carbon and nitrogen dynamics and stabilization time of a swine manure-straw compost [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(11): 2511-2517.
- 平凉地区农科所.农家肥料调查[J].甘肃农业科技,1977(3):18-22.
Institute of Agricultural Research, Pingliang. Investigation of farm manure[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 1977(3): 18-22.
- 金维续.有机肥料研究四十年[J].土壤肥料,1989(5):36-40.
JIN Wei-xu. Study of organic fertilizer for forty years[J]. *Soils and Fertilizers*, 1989(5): 36-40.
- 彭琳,彭祥林.土粪和粪肥的增产效果及其施用条件[J].土壤肥料,1981(6):29-30.
PENG Lin, PENG Xiang-lin. Effect of manure apply on crop yield and condition of its application[J]. *Soils and Fertilizers*, 1981(6): 29-30.
- 中国科学院北京地区有机肥料研究组.猪粪[J].土壤,1961(1):4-9.
Institute of Manure Research, Beijing, Chinese Academy of Science. Pig manure[J]. *Soils*, 1961(1): 4-9.
- 刘更另,陈福兴,张启昭.加土垫圈沤制厩肥的研究[J].土壤通报,1966(2):11-14.
LIU Geng-ling, CHEN Fu-xing, ZHANG Qi-zhao. The study of loess addition to swin lots for the retting of barnyard manure[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1966(2): 11-14.
- 张旭博,徐明岗,张文菊,等.添加有机物料后红壤 CO₂ 释放特征与微生物生物量动态[J].中国农业科学,2011,44(24):5013-5020.
ZHANG Xu-bo, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, et al. Characteristics of CO₂ emission and microbial biomass dynamics after adding various organic materials in red soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(24): 5013-5020.
- Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, 304(5677): 1623-1627.
- Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle[J]. *Biochemistry*, 2000, 48(1): 7-20.
- Bimüller C, Mueller C W, von Lütow M, et al. Decoupled carbon and nitrogen mineralization in soil particle size fractions of a forest topsoil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 78: 263-273.
- 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:30-101.
BAO Shi-dan. Chemical analysis in soil and plant[M]. 3rd edition. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000: 30-101.
- 文启孝.土壤有机质研究方法[M].北京:农业出版社,1984:273-281.
WEN Qi-xiao. Research methods for soil organic matter[M]. Beijing: Agriculture Press, 1984: 273-281.
- 张志莹,吴景贵,杨天悦,等.不同处理牛粪与氮肥混配氨挥发的模拟研究[J].水土保持学报,2013,27(6):285-289.
ZHANG Zhi-ying, WU Jing-gui, YANG Tian-yue, et al. Ammonia volatilization of different mixed cattle manures mixed with nitrogen fertilizer[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(6): 285-289.
- 沈其荣,沈振国,史瑞和.有机肥氮素的矿化特征及其与化学组成的关系[J].南京农业大学学报,1992,15(1):59-64.
SHEN Qi-rong, SHEN Zhen-guo, SHI Rui-he. The characteristics of mineralization of nitrogen in organic manure and its relation to chemical composition of organic manure[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1992, 15(1): 59-64.
- 马丽红.牛粪高温堆肥中氮素转化的微生物机理研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009:4-5.
MA Li-hong. Study on microbial mechanism of nitrogen transformation during cow manure composting[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2009: 4-5.
- 刘满强,胡锋,陈小云.土壤有机碳稳定机制研究进展[J].生态学报,2007,27(6):2642-2650.
LIU Man-qiang, HU Feng, CHEN Xiao-yun. A review on mechanisms of soil organic carbon stabilization[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2642-2650.
- Kleber M, Mikutta R, Torn M S, et al. Poorly crystalline mineral phases protect organic matter in acid subsoil horizons[J]. *European Journal of Soil Science*, 2005, 56(6): 717-725.

- [21] Mikutta R, Kleber M, Torn M S, et al. Stabilization of soil organic matter: Association with minerals or chemical recalcitrance? [J]. *Biogeochemistry*, 2006, 77(1): 25-56.
- [22] 贾伟. 我国粪肥养分资源现状及其合理利用分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 2-6.
JIA Wei. Studies on the evaluation of nutrient resources derived from manure and optimized utilization in arable land of China[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014: 2-6.
- [23] 朱利群. 粪肥还田对农田生态系统氮素的影响及径流流失风险评估[D]. 南京: 南京农业大学, 2010: 1-5.
ZHU Li-qun. Effect on nitrogen of farmland ecosystem and nitrogen runoff loss risk evaluation under manure application to field[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010: 1-5.
- [24] 闫颖, 何红波, 白震, 等. 有机肥对棕壤不同粒级有机碳和氮的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 738-742.
YAN Ying, HE Hong-bo, BAI Zhen, et al. Effect of manure application on the organic C and N in brown earth and particle-size fractions[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(4): 738-742.
- [25] 叶静, 安藤丰, 符建荣, 等. 不同有机肥对土壤中的氮素矿化及对化肥氮固持的影响[J]. 浙江农业学报, 2008, 20(3): 176-180.
YE Jing, AN Teng-feng, FU Jian-rong, et al. Effects of different organic manures on N mineralization and N retention in the soil[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2008, 20(3): 176-180.
- [26] 赵明, 蔡葵, 赵征宇, 等. 不同有机肥料中氮素的矿化特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 146-149.
ZHAO Ming, CAI Kui, ZHAO Zheng-yu, et al. Characteristics of NO_3^- -N and NH_4^+ -N mineralization from different organic fertilizers[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(Suppl): 146-149.
- [27] 卢增兰. 改土粪为粪草堆肥的研究[J]. 土壤, 1986(4): 211-214.
LU Zeng-lan. The study of change farmyard manure to manure and grass composting[J]. *Soils*, 1986(4): 211-214.
- [28] 陕西省农林学校农作专业组. 改变“黄土搬家”习惯, 提高粪肥质量[J]. 陕西农业科技, 1977(8): 16-17.
Group of Agriculture Research, Agriculture and Forestry School, Shaanxi. Change the habits of loess remove, improve the quality of manure[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 1977(8): 16-17.
- [29] 陕西省农林学校农学专业. 改革“黄土搬家”的积肥、施肥习惯[J]. 土壤, 1978(3): 85-87.
Agronomy Specialty, Agriculture and Forestry School, Shaanxi. Change the habits of loess remove compost and application[J]. *Soils*, 1978(3): 85-87.
- [30] 卢宗凡. 改革传统的掺土积肥方法[J]. 山西农业科学, 1983(7): 42.
LU Zong-fan. Reform the traditional way of manure mixed with loess[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 1983(7): 42.