

沼肥表施对土壤氮素动态分布及氨挥发的影响*

王忠江 蔡康妮 王丽丽 李文哲 王光远

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 为探讨表施沼肥对土壤氨挥发和土壤中氮素分布的影响,在室温条件下,通过土柱模拟试验,系统研究表施沼肥对土壤的氨挥发及水分、铵态氮、硝态氮和总氮在土壤垂直剖面上动态分布的影响规律。结果表明:沼肥表施后的氨挥发主要集中在前5天,占总氮挥发总量的97%,而且最大日均氨挥发量出现在第2~3天,最大的日均氨挥发量为93.24 mg/(L·d)。沼肥中铵态氮的下渗要滞后于水的下渗,且沼肥中的水分、铵态氮和总氮主要集中于0~5 cm的表层土壤中,而硝态氮的分布区域较大,在0~15 cm土壤深度范围内的质量浓度均较高。表层土壤中铵态氮的整体变化趋势呈现前高后低,而硝态氮的变化趋势则与之相反。

关键词: 沼肥 表施 氨挥发 氮素 动态分布

中图分类号: S141.9; S147.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)07-0139-05

引言

沼肥是一种养分全面、速缓肥效兼备的优质液体有机肥料,能显著改善土壤环境,有效调节土壤中的水、肥、气、热状况,促进土壤生态环境的良性循环^[1-3]。目前沼肥在使用过程中普遍采用表面施用的方式,但由于沼肥含水率较大,含有较多的速效态氮,施入土壤后一部分氮通过氨(NH₃)挥发损失掉^[4],如果施用量过大沼液中的硝态氮将下渗到土壤深处污染地下水^[5-7],不但影响沼肥中氮素的有效利用率,而且影响空气和地下水的品质,进而阻碍沼肥的应用和推广进程。因此,探明沼肥中水分和氮素在土壤中的动态分布特征及氨挥发损失规律成为一个亟待解决的问题。针对这一问题,本文在前期研究^[8]的基础上,对表施沼肥条件下土壤表面的氨挥发规律及土壤垂直剖面上的铵态氮、硝态氮和总氮的动态分布特征进行系统研究,为沼肥的高效安全利用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用沼肥取自东北农业大学生物质能源实验室,生产沼肥的沼气厌氧发酵原料是总固体质量分数为8%的鸡粪,沼气厌氧发酵的时间为30 d。取回的沼肥测定总固体质量分数、pH值、粘度后冷

藏待用。所用土壤(砂壤土)取自肇源县茂兴镇幸福村(45°53'N,125°07'E),取土深度为地表耕作层0~20 cm,取回的土壤过2 mm筛后备用。土壤的相关理化指标:总固体质量分数为88.64%,pH值为6.81,田间持水量为27.37%,容重为1.16 g/cm³,总氮质量比为958.12 mg/kg,铵态氮质量比为33.77 mg/kg,硝态氮质量比为2.89 mg/kg。沼肥的相关理化指标:总固体质量分数4.37%,pH值8.12,粘度194 mPa·s,总氮质量浓度为3559.55 mg/L,铵态氮质量浓度为2444.55 mg/L,硝态氮质量浓度为81.01 mg/L。

1.2 试验设计

在室温(20℃)条件下,通过土柱模拟试验,系统研究表施沼肥对土壤表面的氨挥发及土壤垂直剖面上的含水率、铵态氮、硝态氮和总氮动态分布的影响规律,试验过程中沼肥的施用量为200 mL。试验在2013年11~12月份进行。

1.3 试验方法

试验采用带底座的聚氯乙烯硬质圆柱管作为试验土柱,土柱的内径为10 cm,高为50 cm,按照1.16 g/cm³的田间容重将供试土壤混匀,分层(5 cm一层)装入圆柱管后压实,形成模拟土柱,土壤总高为40 cm。试验开始时总试验重复装置为16个,试验过程中每5 d停止2个试验装置,然后从这2个试验装置内取样测定不同土壤垂直剖面上各点的含

收稿日期:2014-02-11 修回日期:2014-03-05

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD15B04)、黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12511045、12511048)、黑龙江省博士后科研启动基金资助项目(LBH-Q10148)和教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(20131792)

作者简介:王忠江,副教授,博士,主要从事农业生物环境与能源工程研究,E-mail: neauwzj@126.com

水率和铵态氮、硝态氮、总氮质量比。氨挥发的取样时间为试验开始后的第1天、第3天和第5天,之后每5 d测定一次氨挥发量,然后测定并计算每个取样周期内的日平均氨挥发量。

总固体质量分数采用 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 干燥法^[9]测定;铵态氮采用Kjeltec 2300型自动定氮系统测定;硝态氮测定需先经过2 mol/L的KCl振荡浸提、过滤,然后利用Beckman DU800型紫外分光光度计测定;氨挥发量采用磷酸甘油海绵通气法^[10]捕获 NH_3 ,然后经过1 mol/L的KCl在常温下振荡浸提,之后再按照铵态氮分析方法测定;总氮测定需先经过浓硫酸 380°C 高温催化消煮2 h,将总氮转化为铵态氮,之后再按照铵态氮分析方法测定;pH值采用HI9224型便携式酸度计测定;粘度采用NDJ-9S型数显粘度计测定;容重及田间持水率测定所用容器为 100 cm^3 环刀。

数据处理与分析软件为Microsoft Excel 2007和SPSS 19.0。

2 结果与讨论

2.1 沼肥表施对土壤氨挥发的影响

沼肥表施条件下土壤表面氨挥发量随时间的变化规律如图1所示。

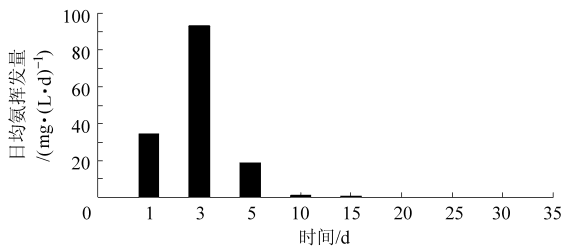


图1 日均氨挥发量变化规律

Fig. 1 Variation of daily ammonia volatilization

从图中可以看出沼肥表施时的日均氨挥发量主要集中在前5天,占总氨挥发量的97%,而且最大日均氨挥发量出现在第2~3天,日均氨挥发量达 $93.24\text{ mg}/(\text{L}\cdot\text{d})$,这与Chantigny等^[11]的研究结果相吻合。第10天和第15天仍有少量的氨挥发,第15天之后便基本没有氨挥发。这与王忠江等研究黑壤土表施沼肥时的氨挥发规律相吻合^[8],但前期的氨挥发强度更大,这主要是由于本试验使用的是粒径较大的砂壤土,更利于氨的挥发。

2.2 沼肥表施对土壤含水率的影响

沼肥表施条件下不同土壤深度处的土壤含水率随时间的变化规律如图2所示。

从图中可以看出不同土壤深度处的土壤含水率差别较大,其中0~15 cm表层土壤的含水率在整个试验周期内的变化规律呈现前高后低的趋势,在第

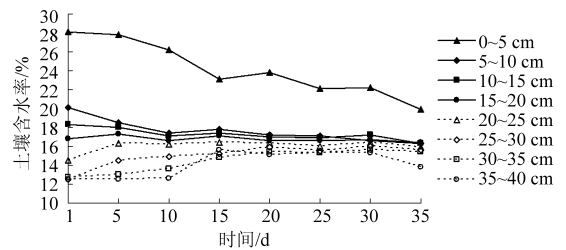


图2 土壤含水率变化规律

Fig. 2 Variation of soil moisture content

15天之后便基本保持稳定。而15~40 cm较深层土壤的含水率在整个试验周期内的变化规律则呈现前低后高的趋势,在第15天之后便基本保持稳定,而且随着土壤深度的增加,含水率达到稳定的持续时间逐渐延长。从图中还可以看出0~5 cm表层土壤的最高含水率及稳定后的含水率均明显高于其他较深层土壤组,利用SPSS软件对试验结果进行显著性分析后可知,在0.01水平上差异达极显著($R = 0.856, P = 0.007, n = 8$)。而其他各组的土壤含水率在试验的前期差别相对较大,而试验后期稳定后的差别较小,基本维持在2%以内。从前面的分析还可以看出在本试验条件下,沼液中水分的下渗及扩散主要集中在前15天。

2.3 沼肥表施对土壤氮素动态分布的影响

2.3.1 土壤铵态氮

沼肥表施条件下不同土壤深度处的土壤铵态氮质量比随时间的变化规律如图3所示。

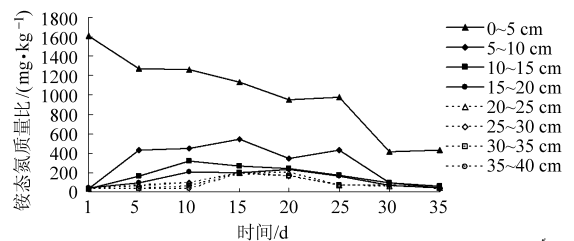


图3 铵态氮质量比变化规律

Fig. 3 Variation of ammonia nitrogen content

从图中可以看出,铵态氮主要集中在表层土壤中,而且0~5 cm表层土壤的铵态氮质量比明显高于其他各组,0~10 cm土壤中的铵态氮总量占土壤中铵态氮总量的67.36%。从图中还可以看出,除第25天铵态氮略有上升外,0~5 cm表层土壤的铵态氮在试验的前30天始终处于下降趋势,之后便基本保持稳定。这主要是由于沼肥表施后,一部分铵态氮转化为 NH_3 ,通过 NH_3 的形式挥发到空气中,另一部分铵态氮随水下渗到底层土壤,同时表层的铵态氮通过硝化过程转化为硝态氮,致使土壤表层的铵态氮在试验的大部分时间内始终处于下降趋势。其他各组的铵态氮质量比在整个试验周期内则呈现先上升后下降的趋势,第30天后基本保持稳定,稳

定后各组的铵态氮质量比均低于 60 mg/kg。利用 SPSS 软件对试验结果进行显著性分析后可知, 表层土壤与底层土壤间的铵态氮质量比差异不显著 ($R=0.35, P=0.395, n=8$)。结合图 2 和图 3 还可以看出, 表施沼肥后的第 1 天, 5~10 cm 土壤的含水率明显高于试验土壤的原始含水率, 而土壤中的铵态氮质量比则没有明显变化, 这说明沼肥表施后沼肥中水的下渗速度要大于铵态氮的下渗速度。

2.3.2 土壤硝态氮

沼肥表施条件下不同土壤深度处的土壤硝态氮质量比随时间的变化规律如图 4 所示。

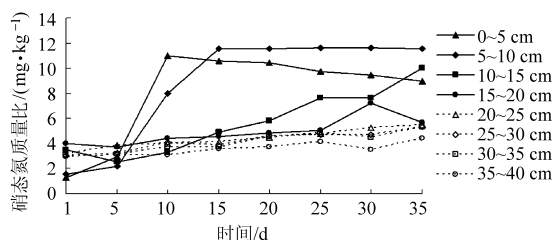


图 4 硝态氮质量比变化规律

Fig. 4 Variation of nitrate nitrogen content

从图中可以看出, 硝态氮主要集中在 0~15 cm 的土壤深度范围内, 这一范围内的硝态氮总量占土壤中硝态氮总量的 51.43%, 而且硝态氮质量比稳定后的值明显高于其他各组, 这与王忠江等的研究结果相吻合, 但本研究中硝态氮在土壤中的分布深度略浅, 这主要是由于本试验使用的是砂壤土, 而硝态氮在砂壤土中的下渗速度要慢于王忠江等研究中使用的黑壤土^[12-13]。但 5~10 cm 土壤中硝态氮质量比与 0~5 cm 和 10~15 cm 相比差异较大, 利用 SPSS 软件对试验结果进行显著性分析后可知在 0.01 水平上差异显著。从图中还可以看出, 在整个试验周期内, 各试验组的硝态氮质量比基本呈现前期逐渐上升以及后期逐渐趋于稳定的趋势, 而且随着土壤深度的增加各试验组前期的上升幅度逐渐减小, 上升过程持续时间增大。结合图 3 和图 4 可知硝态氮在土壤垂直剖面上的分布深度要大于铵态氮, 硝态氮与铵态氮相比被淋洗到地下水中的风险更大, 这与曲明山等^[14]和 Svoboda 等^[15]的研究结果相吻合。结合图 3 和图 4 还可以看出, 表施沼肥后表层土壤中的铵态氮呈现先高后低的趋势, 而硝态氮则呈现先低后高的趋势, 其中铵态氮质量比由开始时的 1 605.54 mg/kg 降低到结束时的 429.65 mg/kg, 而硝态氮质量比则由开始时的 1.27 mg/kg 升高到结束时的 8.97 mg/kg。这主要是因为沼肥是厌氧发酵后的剩余物, 由于氧的缺乏使

沼肥中的氮素主要以铵态氮的形式存在^[16], 而沼肥表施后的初期, 由于土壤表层的含水率较大, 阻碍空气中氧与土壤中铵态氮的接触, 致使沼肥表施后的初期土壤表层的硝态氮质量比较低。然而随着水分的入渗及再分布, 表层土壤中的含水率降低, 土壤的通气性变好, 土壤中的部分铵态氮经硝化反应转化为硝态氮^[17], 使表层土壤中的硝态氮质量比逐渐升高后又趋于稳定。

2.3.3 土壤总氮

沼肥表施条件下不同土壤深度处的土壤总氮质量比随时间的变化规律如图 5 所示。

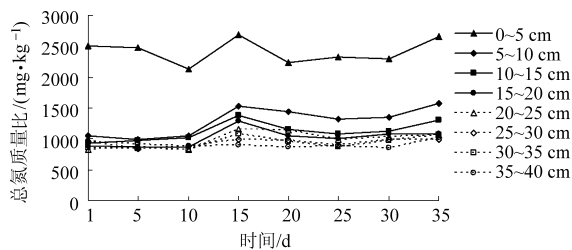


图 5 总氮质量比变化规律

Fig. 5 Variation of total nitrogen content

从图中可以看出, 随着土壤深度的增加总氮质量比逐渐减小, 而且 0~5 cm 表层土壤的总氮质量比明显高于其他各组。从图中还可以看出, 除 0~5 cm、5~10 cm 和 10~15 cm 组在试验后期出现小幅上升外, 各组总氮在整个试验周期内的变化趋势基本一致, 即试验初期总氮质量比逐渐升高, 在第 15 天总氮质量比达到最大, 之后又开始逐渐下降。利用 SPSS 软件对试验结果进行显著性分析后可知, 各组间差异不显著。

3 结论

(1) 沼肥表施后的氮挥发主要集中在试验的前期, 前 5 天的氮挥发量占总氮挥发量的 97%, 最大日均氮挥发量出现在第 2~3 天, 最大日均氮挥发量可达 93.24 mg/(L·d)。

(2) 在砂壤土上表施沼肥后, 沼肥中铵态氮的下渗要滞后于水的下渗, 且沼肥中的水分、铵态氮和总氮主要集中与 0~5 cm 的表层土壤中, 而硝态氮的分布区域较大, 在 0~15 cm 土壤深度范围内的质量比均较高, 所以硝态氮与铵态氮相比更容易下渗到深层土壤。

(3) 表施沼肥后, 表层土壤中的铵态氮和硝态氮的变化趋势相反, 其中铵态氮质量比由开始时的 1 605.54 mg/kg 降低到结束时的 429.65 mg/kg, 而表层土壤中的硝态氮质量比则由开始时的 1.27 mg/kg 升高到结束时的 8.97 mg/kg。

参 考 文 献

- 1 Terhoeven-Urselmans T, Scheller E, Raubuch M. CO₂ evolution and N mineralization after biogas slurry application in the field and its yield effects on spring barley[J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42(3): 297–302.
- 2 张无敌,尹芳,李建昌,等. 沼液对土壤有机质含量和肥效的影响[J]. *可再生能源*,2008,26(6):45–47.
Zhang Wudi, Yin Fang, Li Jianchang, et al. Influence of biogas fluid on the organic matter content in soil and its fertilization effect [J]. *Renewable Energy Resources*, 2008, 26(6): 45–47. (in Chinese)
- 3 靳红梅,常志州,郭德杰,等. 追施猪粪沼液对菜地氨挥发的影响[J]. *土壤学报*,2012,49(1):86–95.
Jin Hongmei, Chang Zhizhou, Guo Dejie, et al. Effect of topdressing with digested pig slurry on ammonia volatilization in vegetable fields[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(1): 86–95. (in Chinese)
- 4 Rochette P, Angers D A, Chantigny M H, et al. Carbon dioxide and nitrous oxide emissions following fall and spring application of pig slurry to an agricultural soil[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 68(4): 1410–1420.
- 5 Dauden A, Quilez D. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a mediterranean irrigated environment [J]. *European Journal of Agronomy*, 2004, 21(1): 7–19.
- 6 Mantovi P, Fumagalli L, Beretta G P, et al. Nitrate leaching through the unsaturated zone following pig slurry applications[J]. *Journal of Hydrology*, 2006, 31(6): 195–212.
- 7 李彦超,廖新伟,林东教,等. 不同沼液灌溉强度对土壤和渗滤液的影响[J]. *家畜生态学报*,2009,30(4):52–56.
Li Yanchao, Liao Xindi, Lin Dongjiao, et al. Effects of irrigation intensity of fermented slurry on soil and leaching liquid[J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2009, 30(4): 52–56. (in Chinese)
- 8 王忠江,蔡康妮,王丽丽,等. 施灌沼肥对土壤氨挥发和氮素下渗规律的影响[J]. *农业机械学报*,2014,45(5):139–144.
Wang Zhongjiang, Cai Kangni, Wang Lili, et al. Influence of biogas slurry application on ammonia volatilization and nitrogen infiltration[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014,45(5): 139–144. (in Chinese)
- 9 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 环境科学出版社,1989.
- 10 王朝辉,刘学军,巨晓棠,等. 田间土壤氨挥发的原位测定-通气法[J]. *植物营养与肥料学报*,2002,8(2):205–209.
Wang Zhaohui, Liu Xuejun, Ju Xiaotang, et al. Field in situ determination of ammonia volatilization from soil:venting method [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(2): 205–209. (in Chinese)
- 11 Chantigny M H, Rochette P, Angers D A, et al. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68 (1): 306–312.
- 12 杨林,薛栋森, Henry C L,等. 生物固体对土壤氮循环和硝态氮淋洗的影响[J]. *农业环境保护*,1997,16(4):182–186.
Yang Lin, Xue Dongsun, Henry C L, et al. The effects of biosolids on nitrogen cycle and nitrate leaching in soil[J]. *Agro-environmental Protect*, 1997,16(4): 182–186. (in Chinese)
- 13 张庆忠,陈欣,沈善敏. 农田土壤硝酸盐积累与淋失研究进展[J]. *应用生态学报*,2002,13(2):233–238.
Zhang Qingzhong, Chen Xin, Shen Shanmin. Advances in studies on accumulation and leaching of nitrate in farming soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(2): 233–238. (in Chinese)
- 14 曲明山,郭宁,陈保华,等. 沼液与化肥长期配施对蔬菜生产和土壤肥力的影响[J]. *中国沼气*,2013,31(3):44–47.
Qu Mingshan, Guo Ning, Chen Baohua, et al. Effect of combined application of biogas slurry and chemical fertilizer on vegetable production and soil fertility[J]. *China Biogas*, 2013, 31(3): 44–47. (in Chinese)
- 15 Svoboda N, Taube F, Wienforth B, et al. Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize[J]. *Soil and Tillage Research*, 2013, 130: 69–80.
- 16 隋倩雯,董红敏,朱志平,等. 沼液深度处理技术研究与应用现状[J]. *中国农业科技导报*,2011,13(1):83–87.
Sui Qianwen, Dong Hongmin, Zhu Zhiping, et al. Present status of biogas effluent treatment technology research and application [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2011, 13(1): 83–87. (in Chinese)
- 17 吴军虎,费良军,李怀恩. 灌施条件下波涌灌溉土壤间歇入渗硝态氮运移特性试验研究[J]. *灌溉排水学报*,2004,23(5): 41–44.
Wu Junhu, Fei Liangjun, Li Huaien. Nitrate nitrogen transport characteristics of intermittent infiltration under surge fertigation [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004, 23(5): 41–44. (in Chinese)

Influence of Surface Application of Biogas Slurry on Ammonia Volatilization and Dynamic Distribution of Soil Nitrogen

Wang Zhongjiang Cai Kangni Wang Lili Li Wenzhe Wang Guangyuan

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to investigate the law of ammonia volatilization and nitrogen infiltration in the process of biogas slurry surface application, the rules of ammonia volatilization of soil surface and the infiltration of total nitrogen, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and water in vertical soil profile were systematically explored by soil column experiments at room temperature. The experimental results show that the ammonia volatilization mainly happened in the first five days, which accounts for 97% of total amount. And the maximum daily ammonia volatilization is $93.24 \text{ mg}/(\text{L}\cdot\text{d})$, which appeared from the second day to the third day. The infiltration rate of ammonia nitrogen lagged behind the water infiltration. The distributions of water, ammonia nitrogen and total nitrogen mainly exist in $0 \sim 5 \text{ cm}$ soil. And the distribution area of nitrate nitrogen is $0 \sim 15 \text{ cm}$, bigger than that of ammonia nitrogen. The variation of ammonia nitrogen of topsoil has a high to low trend. And the whole variant trend of nitrate nitrogen of topsoil is opposite to the ammonia nitrogen.

Key words: Biogas slurry Surface application Ammonia volatilization Nitrogen Dynamic distribution

(上接第 97 页)

Investigation on Vortex Strength Function along Midline of Axial Impeller Airfoils

Yan Jing^{1,2} Kan Nengqi^{1,2} Zhou Xucheng³ Wang Li³

(1. School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China

2. Key Laboratory of Fluid and Power Machinery, Ministry of Education, Xihua University, Chengdu 610039, China

3. Yongyi Pump Co., Ltd., Chengdu 610300, China)

Abstract: Singular point distribution method is an important approach in axial blade design for computing and shaping midline of axial impeller airfoils on a developed flow plane. The principle involved in this method is to place continuous vortices along the midline to replace airfoils, to induce a plane velocity field meeting the requirement of specified pump performance, and, finally, to form the required microbending airfoil midline. A proper strength function of vortex sheet is a primary to realize this object. It is found that the commonly defined strength function is only suitable for flow conditions in runner plane airfoils. We presented a new vortex strength function differing from the traditional one and justified the reasonableness of the new theorem by potential flow theories; the resultant velocity normal to the sheet is zero, in compliance with the fact that the flow can't penetrate the solid airfoil; the computed velocities at the front and rear points of the airfoil in a uniform stream indicate these two points are in agreement with Kutta - Chaplygin conditions. The paper formulates a new way for axial airfoil design.

Key words: Axial flow impeller Airfoils Singularity approach Design