

外源氮添加对湿地土壤 N_2O 排放量的影响

史昊先¹, 高晓霞², 于景丽^{1,2,3*}, 赵吉^{2,3}

(1.内蒙古大学生命科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010021; 2.内蒙古大学环境与资源学院, 内蒙古 呼和浩特 010021; 3.中美生态、能源及可持续性科学内蒙古研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010021)

摘要:为搞清湿地土壤驱动 N_2O 排放的关键氮源类型,有效减少湿地 N_2O 的排放,本文通过室内控制温湿度,用气相色谱法分析不同外源氮素对湿地 N_2O 排放的影响。结果表明:外加氮源组总是高于对照组 N_2O 排放量($4.4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)。在设定的剂量范围内,单独添加尿素或尿素与硝酸铵 1:1 配合时 N_2O 排放量呈现先增后减的单峰分布趋势,峰值分别为 $10.6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $229.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$;单独添加硝酸铵时 N_2O 排放量($32.6 \sim 111.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)随着氮素添加量增加呈现持续上升趋势。单独添加尿素或硝酸铵、尿素与硝酸铵 1:1 配合均促进 N_2O 的排放,但硝酸铵尿素混合添加对 N_2O 排放量的贡献>单独添加硝酸铵>单独添加尿素。这为预测内蒙古高原区农牧交错带湿地氮素输入可能带来的温室效应和有效减排提供科学依据。

关键词:湿地;添加外源氮素;尿素;硝酸铵;复合施肥; N_2O 排放量

中图分类号:X511

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2014)05-0456-05

doi: 10.13254/j.jare.2014.0180

Effect of Exogenous Nitrogen Addition on Nitrous Oxide N_2O Emissions from Wetland Soil

SHI Hao-xian¹, GAO Xiao-xia², YU Jing-li^{1,2,3*}, ZHAO Ji^{2,3}

(1.College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 2.College of Environment and Resources, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 3.Sino-US Center for Conservation, Energy Science in Inner Mongolia, Hohhot 010021, China)

Abstract: It is important to make sure key nitrogen driving N_2O emission source from wetland soil for efficient N_2O emission reduction. In laboratory, the temperature and humidity were kept constant to study effect from different forms of exogenous N on N_2O emissions from wetland soil by gas chromatography. The results showed that all groups of exogenous N inputs increased N_2O emissions from wetland soil in contrast to CK group ($4.4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Under the group urea (U) alone and the combination of urea with ammonium nitrate (UAN) in a 1:1 concentration ratio, the change of N_2O emissions showed a unimodal trend, first increased and then decreased, the peak value $10.6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ and $229.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ of N_2O emissions corresponded to U and of UAN, respectively. While N_2O emissions showed an upward trend for ammonium nitrate (AN) alone, within the range from $32.6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ to $111.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ N_2O emissions. All exogenous N treatments increased N_2O emissions more than CK, UAN combination>AN alone>U alone. This provided a scientific basis for predicting greenhouse effect caused by N fertilizer in wetland soil from farming-pastoral transition zone, as well as a reference for effective reducing N_2O emissions from wetlands in Inner Mongolia Plateau.

Keywords: wetland; addition of exogenous nitrogen; urea; ammonium nitrate; combination application; N_2O emissions

氧化亚氮(N_2O)是继 CO_2 和 CH_4 之后的第三大温室气体^[1]。中国化学氮肥年消耗量约占全球的 25%,农业生产造成 N_2O 排放量正随氮肥使用量呈现指数增长趋势。中国是《京都议定书》缔约国, N_2O 减排的研究成为举世瞩目的焦点问题。

国内外大量报道了农田、森林和草地等陆地系统氮添加对土壤 N_2O 排放量的影响^[2-15]和自然湿地土壤 N_2O 排放的时空异质性^[16-25],鲜见外源氮添加对自然湿地土壤 N_2O 排放的影响^[26]。内蒙古高原半干旱区农牧交错带湿地萎缩和次生盐碱化问题严重,而化肥和牲畜粪尿等氮源物质的大量输入可能导致土壤氮素损失或 N_2O 的排放风险值增加^[27-28]。

本论文通过室内控制温度湿度,研究无机氮和有机氮输入对 N_2O 排放量的影响,分析不同外源氮素添加量与 N_2O 排放量对应的剂量效应关系,搞清湿地土壤驱动 N_2O 排放的氮源类型,为减少内蒙古高原区湿

收稿日期:2014-07-14

基金项目:国家自然科学基金项目(41361053);内蒙古自然科学基金项目(2011MS0603);内蒙古大学校级大学生创新计划项目(2012234)

作者简介:史昊先(1989—),男,山西晋中人,硕士研究生,主要从事湿地氮循环相关研究工作。E-mail: 316029731@qq.com

*通信作者:于景丽 E-mail: hot-yjl@163.com

地 N₂O 的排放提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

内蒙古高原小黑河水系呼和浩特市南湖段,地理坐标是 N40°46′47″,E111°39′47″。该区气候干旱(300~400 mm),地下水位较浅(1~3 m),地表积盐现象明显,植被主要为耐盐耐湿的垂柳、旱柳、杞柳、怪柳等。采集的淹水区湿地土壤,质地粘重,土壤 pH 值 8.3,全盐含量 9.8 g·kg⁻¹,有机质 3.6 g·kg⁻¹,碱解氮 32.0 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

充分混匀湿地土壤后按每瓶 25.0 g 分装到 39 个 250 mL 的集气瓶中。选择 1 个不加任何氮源的蒸馏水作为空白对照组,3 个外加氮源组:(1)尿素水溶液;(2)硝酸铵水溶液;(3)尿素与硝酸铵 1:1 配比的水溶液,每个氮源组均设置为 1.0、2.0、3.0、4.0 g·L⁻¹,每个剂量均设置 3 个重复。光照培养箱内保持湿地土壤 22℃恒温恒湿,培养 2 周。

1.3 N₂O 的测定和计算方法

采集适量的气体用 Agilent 7890A 气相色谱仪检测 N₂O 的浓度。待测气体浓度:Cs(mg·L⁻¹)=As×C₀/A₀ 其中 As 为待测样品的峰面积;C₀ 为标气浓度(1.0 mg·L⁻¹);A₀ 为标气的峰面积。N₂O 排放量(mg·m⁻³)=(M/22.4)×Cs(mg·L⁻¹),其中 M 为 N₂O 的分子质量。

1.4 数据的统计分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 软件对不同处理 3 个重复对应的 N₂O 排放量进行数据处理、单因素方差分析和回归分析,并用最小显著差异法(LSD)对不同

处理间各指标进行多重比较。用 Origin Lab 8.5 对不同外加氮源处理与 N₂O 排放量的变化关系进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 尿素添加与湿地土壤 N₂O 排放量间的量效关系

由表 1 可知,尿素添加组 N₂O 排放量均高于空白对照组 4.4 mg·m⁻³,除处理组 3 添加 2.0 g·L⁻¹ 剂量组差异显著(P<0.05)外,其他剂量组与对照组差异不显著(P>0.05),说明尿素并非湿地土壤利用的主要氮源类型。随着尿素添加量的增加土壤 N₂O 的排放量呈现先增后减的单峰变化趋势,当尿素添加量为 2.0 g·L⁻¹ 时出现了 N₂O 排放量的峰值 10.6 mg·m⁻³。

2.2 硝酸铵添加与湿地土壤 N₂O 排放量间的量效关系

由表 1 可知,NH₄NO₃ 任一剂量组 N₂O 排放量显著高于对照组 4.4 mg·m⁻³ (P<0.01),说明 NH₄NO₃ 是湿地土壤利用的主要氮源类型。随着 NH₄NO₃ 添加量的增加 N₂O 排放量呈持续上升趋势,呈现线性正相关性关系(R²=0.94)。

2.3 尿素与硝酸铵按 1:1 配比混合添加与湿地土壤 N₂O 排放量间的量效关系

由表 1 可知,尿素与 NH₄NO₃ 按照 1:1 配比添加同样剂量的氮素时,N₂O 排放量极显著高于对照组 (P<0.01)。随着氮添加量的不断增加土壤 N₂O 的排放量亦呈现先增后减的单峰变化趋势,在氮素添加量为 3.0 g·L⁻¹ 时出现了 N₂O 排放量的峰值 229.0 mg·m⁻³。

2.4 三组外加氮源与湿地土壤 N₂O 排放量间量效关系的比较分析

对比 3 组氮源类型,湿地土壤中添加尿素与

表 1 不同外加氮源对湿地土壤 N₂O 排放量的影响
Table 1 Effect of different exogenous nitrogen on emissions of nitrous oxide in wetland soil

处理 Treatment	不同氮源剂量处理 /g·L ⁻¹ Treatment based on different doses of exogenous nitrogen	尿素对应 N ₂ O 排放量 /mg·m ⁻³ N ₂ O emissions for different doses of urea	硝酸铵对应 N ₂ O 排放量 /mg·m ⁻³ N ₂ O emissions corresponding to different doses of ammonium nitrate	硝酸铵与尿素 1:1 混合 对应的 N ₂ O 排放量 /mg·m ⁻³ N ₂ O emissions corresponding to different doses of the mixture of ammonium nitrate with urea according to the ratio 1:1
对照组 1	0.0	4.4 ± 0.5aA	4.4 ± 0.5aA	4.4 ± 0.5aA
处理组 2	1.0	6.3 ± 0.5aA	32.6 ± 0.7bB	71.3 ± 3.1bB
处理组 3	2.0	10.6 ± 0.6bA	83.1 ± 1.9cC	137.6 ± 1.2cC
处理组 4	3.0	8.0 ± 0.5aA	93.6 ± 3.2dD	229.0 ± 12.0dD
处理组 5	4.0	5.9 ± 0.8aA	111.0 ± 2.0eE	143.2 ± 2.8cC

注:表中数值均为 3 个重复的平均值±标准误,同列不同小写和大写字母分别表示处理间差异显著(P<0.05)或极显著(P<0.01)。
Note: Numerical values were the mean ± std of 3 replicates. Different lowercase letters indicated significant differences (P<0.05), different uppercase letters indicated significant difference (P<0.01).

NH_4NO_3 复合肥组 N_2O 排放量 ($71.3\sim 229.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) 高于单独 NH_4NO_3 组 ($32.6\sim 111.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), 明显高于尿素组 ($5.9\sim 10.6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$)。说明尿素与 NH_4NO_3 复合肥组是湿地土壤最易利用的氮源类型, 单独 NH_4NO_3 组是较易利用的氮源类型, 而尿素是湿地土壤最不易利用的氮源类型。

3 讨论

土壤产生 N_2O 除纯化学脱氮^[29]外, 主要是微生物驱动的脱氮过程, 包括厌氧/好氧反硝化作用、好氧氨氧化和硝化作用等^[29-31]。其中, 好氧硝化将 $(\text{NH}_4^+/\text{NH}_3)$ 逐级氧化和厌氧反硝化将 $(\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-)$ 逐级还原过程被认为是农田土壤释放 N_2O 的重要代谢途径^[29-30]。土壤质地、溶解氧含量及底物类型和浓度等是影响这些脱氮过程的主要因素^[29-31]。

3.1 湿地土壤驱动 N_2O 排放的氮源类型

本研究湿地土壤中添加尿素与 NH_4NO_3 复合肥组 N_2O 排放量或单独 NH_4NO_3 组均明显高于尿素组。其中湿地土壤添加尿素不能引起 N_2O 排放量显著增加的结果和 Zaman 等^[32]研究湿地的结果一致。原因之一一是尿素中 $\text{CONH}_2\text{-N}$ 不能被微生物直接利用产生 N_2O , 需经脲酶水解变成 $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ 后才能通过微生物的氨氧化和硝化作用形成 N_2O ; 原因之二是湿地土壤粘重、淹水条件下土壤通气性差, 脲酶活性受到抑制不利于尿素中 $\text{CONH}_2\text{-N}$ 向 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 转化, 也不利于微生物的好氧氨氧化产生 N_2O , 只能通过土壤中自身存在的 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 结合释放少量的 N_2O 。湿地土壤添加 NH_4NO_3 比添加尿素更有利于 N_2O 的排放, 原因可能是 NH_4NO_3 中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为湿地土壤微生物反硝化优先利用的底物, 逐级被还原产生较多的 N_2O , 同时 NH_4NO_3 中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与反硝化过程积累的中间产物 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 结合产生更多的 N_2O 。Thornton 等^[33]发现肥料类型强烈影响黄土土壤 N_2O 的排放, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比尿素-N 更容易产生 N_2O , 这和本研究 NH_4NO_3 中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比尿素中 $\text{CONH}_2\text{-N}$ 更容易被利用产生较多 N_2O 的结果相一致。Galdos 等^[34]研究发现巴西甘蔗林土壤施用 NH_4NO_3 比尿素释放的 N_2O 少, 与本研究结果恰恰相反。原因可能是本研究湿地土壤 N_2O 产生途径以微生物的逐级厌氧反硝化和化学反硝化^[29]为主, 而甘蔗林土壤以微生物的好氧氨氧化和硝化途径产生 N_2O 为主^[29-30]。本研究发现尿素与 NH_4NO_3 复合肥组中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 仍是湿地土壤厌氧微生物反硝化优先利用的底物, 且添加尿素形成的

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 刺激 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 通过反硝化作用产生相对较多的 N_2O 和中间产物 $\text{NO}_2^-\text{-N}$, 加速了与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 结合产生更多的 N_2O 。Calvo 等^[35]发现特定条件下尿素与 NH_4NO_3 复合肥有利于 N_2O 的释放, 间接验证了本研究湿地土壤尿素与 NH_4NO_3 复合肥组比单一的尿素组或 NH_4NO_3 组更有利于 N_2O 排放的结果。

3.2 氮素添加量对土壤 N_2O 排放的影响

本研究发现淹水还原条件下湿地土壤添加尿素虽不容易产生 N_2O , 但当尿素浓度不断增加, N_2O 的排放量呈现先增后减的变化趋势, 说明在环境因素相对稳定的条件下, 底物浓度是驱动 N_2O 排放的关键要素。Mosier 等^[36]研究了不同剂量 NH_4NO_3 对 N_2O 排放的影响, 发现 N_2O 的增加量与 NH_4NO_3 的施用量呈现线性关系。这和本研究湿地 N_2O 排放量与 NH_4NO_3 添加量呈线性正相关性关系的结果相一致, 符合 Kim 等^[37]提出的线性关系。本研究单独添加尿素组或尿素与 NH_4NO_3 复合肥组均呈现先增后减的变化趋势, 符合 Kim 等^[37]提出的非线性关系。

4 结论

外加氮源组 N_2O 排放量 ($5.9\sim 229.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) 总高于无氮素添加对照组的 N_2O 排放量 ($4.4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$)。氮素形态及用量是驱动淹水湿地土壤 N_2O 排放量的关键因素, 推测淹水土壤 NH_4NO_3 中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 是最易转化成 N_2O 的氮素类型, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 次之; 尿素中 $\text{CONH}_2\text{-N}$ 不易转化为 N_2O , 具有滞后效应。尿素添加组及尿素与硝酸铵复合组土壤 N_2O 的排放量均随着氮素添加量的增加呈先增后减的单峰变化趋势, 硝酸铵添加组 N_2O 排放量则随着氮素添加量的增加呈持续上升趋势。淹水湿地土壤尿素配合 NH_4NO_3 更有利于 N_2O 的排放, 表现为添加尿素与硝酸铵复合组 ($71.3\sim 229.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) > 单独硝酸铵组 ($32.6\sim 111.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) > 单独尿素组 ($5.9\sim 10.6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$)。

参考文献:

- [1] 马晓菲, 谢文霞, 赵全升. 外源氮输入对土壤 N_2O 释放的影响研究进展[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(12): 453-457.
MA Xiao-fei, XIE Wen-xia, ZHAO Quan-sheng. Progress on effects of exogenous nitrogen input on N_2O emission from soil[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(12): 453-457. (in Chinese)
- [2] 张岳芳, 周 炜, 王子臣, 等. 氮肥施用方式对油菜生长季氧化亚氮排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(8): 1690-1696.
ZHANG Yue-fang, ZHOU Wei, WANG Zi-chen, et al. Effect of nitrogen fertilizer application modes on nitrous oxide emissions during grow-

- ing season of oilseed rape (*Brassica napus*)[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(8): 1690–1696. (in Chinese)
- [3] 黄红英, 曹金留, 靳红梅, 等. 猪粪沼液施用对稻麦轮作系统土壤氧化亚氮排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 30(11): 2353–2361. HUANG Hong-ying, CAO Jin-liu, JIN Hong-mei, et al. Influence of application of digested pig slurry on nitrous oxide emission under rice-wheat rotation system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 30(11): 2353–2361. (in Chinese)
- [4] 马二登, 马 静, 徐 华, 等. 追肥时间对小麦拔节-成熟期氧化亚氮排放的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(5): 971–978. MA Er-deng, MA Jing, XU Hua, et al. Nitrous oxide emissions from wheat field at wheat jointing-maturing stage as affected by timing of top-dressing[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(5): 971–978. (in Chinese)
- [5] 杜亚琴, 郑丽行, 樊小林. 三种控释肥在赤红壤中的氧化亚氮排放[J]. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2370–2376. DU Ya-qin, ZHENG Li-xing, FAN Xiao-lin. Effect of applying controlled release fertilizers on N₂O emission from a lateritic red soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(9): 2370–2376. (in Chinese)
- [6] 王 建, 诸葛玉平, 彭福田, 等. 袋控肥对土壤氮挥发, 氧化亚氮和二氧化碳排放的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 294–297. WANG Jian, ZHUGE Yu-ping, PENG Fu-tian, et al. Effect of paper package fertilization on soil ammonia volatilization, nitrous oxide and carbon dioxide emission[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(6): 294–297. (in Chinese)
- [7] Smith K A, Bouwman L, Braatz B. Nitrous oxide: Direct emissions from agricultural soils [C]//Background paper for IPCC workshop on good practice in inventory preparation: Agricultural sources of methane and nitrous oxide, 1999: 24–26.
- [8] Davidson E A. The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860[J]. *Nature Geoscience*, 2009, 2(9): 659–662.
- [9] Wolf B, Zheng X, Garbageman N, et al. Grazing-induced reduction of natural nitrous oxide release from continental steppe[J]. *Nature*, 2010, 464(7290): 881–884.
- [10] Kim D G, Rafique R, Leahy P, et al. Estimating the impact of changing fertilizer application rate, land use, and climate on nitrous oxide emissions in Irish grasslands[J]. *Plant and Soil*, 2014, 374(1–2): 55–71.
- [11] Reay D S, Davidson E A, Smith K A, et al. Global agriculture and nitrous oxide emissions[J]. *Nature Climate Change*, 2012, 2(6): 410–416.
- [12] Hoben J P, Gehl R J, Millar N, et al. Nonlinear nitrous oxide (N₂O) response to nitrogen fertilizer in on-farm corn crops of the US Midwest[J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(2): 1140–1152.
- [13] Das S, Adhya T K. Effect of combine application of organic manure and inorganic fertilizer on methane and nitrous oxide emissions from a tropical flooded soil planted to rice[J]. *Geoderma*, 2014, 213: 185–192.
- [14] Singh J, Krishnamurti A, Bolan N S, et al. Impact of urease inhibitor on ammonia and nitrous oxide emissions from temperate pasture soil cores receiving urea fertilizer and cattle urine[J]. *Science of the Total Environment*, 2013, 465: 56–63.
- [15] Pelster D E, Larouche F, Rochette P, et al. Nitrogen fertilization but not soil tillage affects nitrous oxide emissions from a clay loam soil under a maize soybean rotation[J]. *Soil and Tillage Research*, 2011, 115: 16–26.
- [16] 李 勇, 刘 敏, 陆 敏, 等. 崇明东滩芦苇湿地氧化亚氮排放[J]. 环境科学学报, 2010, 30(12): 2526–2534. LI Yong, LIU Min, LU Min, et al. Phragmites australis effects on N₂O emission in the Chongming eastern tidal flat[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(12): 2526–2534. (in Chinese)
- [17] 袁淑方, 王为东. 太湖流域源头溪流氧化亚氮(N₂O)释放特征[J]. 生态学报, 2012, 32(20): 6279–6288. YUAN Shu-fang, WANG Wei-dong. Characteristics of nitrous oxide (N₂O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(20): 6279–6288. (in Chinese)
- [18] 王德宣. 若尔盖高原泥炭沼泽二氧化碳, 甲烷和氧化亚氮排放通量研究[J]. 湿地科学, 2010, 8(3): 220–224. WANG De-xuan. Emission fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from peat marsh in Zoigê Plateau[J]. *Wetland Science*, 2010, 8(3): 220–224. (in Chinese)
- [19] Zhang Q Y, Li F D, Tang C Y. Quantifying of soil denitrification potential in a wetland ecosystem, ochi experiment site, Japan[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2012, 3(1): 93–96.
- [20] 胡智强. 闽江河口沼泽湿地 3 种温室气体通量日进程特征[D]. 福州: 福建师范大学, 2011. HU Zhi-qiang. Diurnal variations of greenhouse gas fluxes from the marsh in the Min River estuary[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2011. (in Chinese)
- [21] 孙巧奇. 中国嫩江流域湿地温室气体通量变化及其影响因素研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013. SUN Qiao-qi. The study of greenhouse gas flux and its influencing factors in the Nen River Valley wetlands of China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013. (in Chinese)
- [22] 谢文霞, 赵全升, 张 芳, 等. 胶州湾河口湿地秋冬季 N₂O 气体排放通量特征[J]. 地理科学, 2011, 31(4): 464–469. XIE Wen-xia, ZHAO Quan-sheng, ZHANG Fang, et al. Characteristics of N₂O flux in estuary wetland of Jiaozhou Bay in autumn and winter[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(4): 464–469. (in Chinese)
- [23] Lind L P D, Audet J, Tonderski K, et al. Nitrate removal capacity and nitrous oxide production in soil profiles of nitrogen loaded riparian wetlands inferred by laboratory microcosms[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 60: 156–164.
- [24] Scaroni A E, Ye S, Lindau C W, et al. Nitrous oxide emissions from soils in louisiana's Atchafalaya River Basin[J]. *Wetlands*, 2014: 34(3): 545–554.
- [25] Jørgensen C J, Elberling B. Effects of flooding-induced N₂O production, consumption and emission dynamics on the annual N₂O emission budget in wetland soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 53: 9–17.
- [26] Masaka J, Nyamangara J, Wuta M. Nitrous oxide emissions from wetland soil amended with inorganic and organic fertilizers[J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2014, 60(10): 1–25.
- [27] Asgedom H, Tenuta M, Flaten D N, et al. Nitrous oxide emissions from a clay soil receiving granular urea formulations and dairy manure[J]. *Agronomy Journal*, 2014, 106: 1–13.
- [28] Das S, Adhya T K. Effect of combine application of organic manure and

- inorganic fertilizer on methane and nitrous oxide emissions from a tropical flooded soil planted to rice[J]. *Geoderma*, 2014, 213: 185–192.
- [29] 蔡延江, 丁维新, 项 剑. 土壤 N_2O 和 NO 产生机制研究进展[J]. 土壤, 2012, 44(5): 712–718.
- CAI Yan-jiang, DING Wei-xin, XIANG Jian. Mechanisms of nitrous oxide and nitric oxide production in soils: A review[J]. *Soils*, 2012, 44(5): 712–718. (in Chinese)
- [30] 朱永官, 王晓辉, 杨小茹, 等. 农田土壤 N_2O 产生的关键微生物过程及减排措施[J]. 环境科学, 2014, 35(2): 792–800.
- ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, et al. Key microbial processes in nitrous oxide emission of agricultural soil and mitigation strategies[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(2): 792–800. (in Chinese)
- [31] Omonode R A, Vyn T J. Nitrification kinetics and nitrous oxide emissions when nitrapyrin is coapplied with urea-ammonium nitrate[J]. *Agronomy Journal*, 2013, 105(6): 1475–1486.
- [32] Zaman M, Nguyen M L, Matheson F, et al. Can soil amendments (zeolite or lime) shift the balance between nitrous oxide and dinitrogen emissions from pasture and wetland soils receiving urine or urea- N ?[J]. *Soil Research*, 2007, 45(7): 543–553.
- [33] Thornton F C, Bock B R, Tyler D D. Soil emissions of nitric oxide and nitrous oxide from injected anhydrous ammonium and urea[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(6): 1378–1384.
- [34] Galdos M V, Siqueira Neto M, Feigl B J, et al. Nitrous oxide emission factors from N -fertilizer in sugarcane production in Brazil[C]. AGU Fall Meeting Abstracts, 2013, 1: 418.
- [35] Calvo P, Watts D B, Ames R N, et al. Microbial-based inoculants impact nitrous oxide emissions from an incubated soil medium containing urea fertilizers[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2013, 42(3): 704–712.
- [36] Mosier A R, Hutchinson G L, Sabey B R, et al. Nitrous oxide emissions from barley plots treated with ammonium nitrate or sewage sludge[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1982, 11(1): 78–81.
- [37] Kim D G, Hernandez-Ramirez G, Giltrap D. Linear and nonlinear dependency of direct nitrous oxide emissions on fertilizer nitrogen input: A meta-analysis[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 168: 53–65.

《草业科学》2015 年征订启事

· 欢迎投稿 ☆ 欢迎订阅 ☆ 欢迎刊登广告 ·

《草业科学》1984 年创刊,由中国科学技术协会主管、中国草学会和兰州大学草地农业科技学院主办,是面向国内外公开发行的综合性科技期刊。本刊为“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”,并被《中国核心期刊(遴选)数据库》、中国科学期刊文献数据库、英国 CABI、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、中国科技期刊数据库、《中国生物学文摘》和“中国生物学文献数据库”收录为固定源期刊。近几年,《草业科学》相继获得“全国畜牧兽医优秀期刊一等奖”、“全国优秀农业期刊二等奖”和“中国精品科技期刊”等荣誉。据 2013 年版科技部中国科技信息所《中国科技期刊引证报告》,总被引频次和影响因子分别为 2 327 和 0.849,综合评价总分为 54.1,在全国畜牧、兽医科学类期刊中排名第 2。

《草业科学》主要刊载国内外草业科学及其相关领域,如畜牧学、作物学、园艺学、生物学、林学、环境工程与科学、经济学和管理学等领域的创新性理论研究、技术开发、成果示范推广等方面的论文、综述、专论和学科前沿动态等。本刊结合草业科学学科发展和科技期刊的定位,目前主要设有专论、前植物生产层、植物生产层、动物生产层、后生物生产层、基层园地、业界信息等栏目,不仅为高校、科研单位的师生提供交流平台,同时为基层科技人员的成果交流创造机会。另外,本刊广告服务项目范围为畜牧机械、草种、化学药剂、仪器设备以及科研机构、重点实验室、高科技农业企业的形象广告等。

《草业科学》为月刊,大 16 开本,亚芬纸印刷,彩色封面覆膜,国内外公开发行,邮发代号 54-51,每期定价 12 元,全年 144 元。全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系订阅。

标准刊号:ISSN 1001-0629 CN 62-1069/S

地址:兰州市城关区嘉峪关西路 768 号《草业科学》编辑部

电话:0931-8912486

E-mail:cykx@lzu.edu.cn

邮发代号:54-51

邮编:730020

传真:0931-8912486

网址:http://cykx.lzu.edu.cn