

丁维军,陶林海,吴林,等. 2013. 新型缓释尿素对削减温室气体、NH₃排放和淋溶作用的研究[J]. 环境科学学报,33(10):2840-2847

Ding W J, Tao L H, Wu L, et al. 2013. Effects of controlled release urea on greenhouse gases, NH₃ emissions and eluviation[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,33(10):2840-2847

新型缓释尿素对削减温室气体、NH₃排放和淋溶作用的研究

丁维军^{1,2},陶林海^{1,2},吴林^{2,3},倪晓宇^{2,3},吴跃进^{2,3},王钰^{1,*}

1. 安徽大学资源与环境工程学院,合肥 230601

2. 中国科学院离子束生物工程学重点实验室,合肥 230031

3. 中国科学院合肥物质研究院技术生物与农业工程研究所,合肥 230031

收稿日期:2012-12-10

修回日期:2013-04-02

录用日期:2013-04-02

摘要:温室气体(CO₂、CH₄、N₂O)和NH₃的排放及水体污染带来的环境问题日益突出,其中,化肥的施用等农业排放是重要来源之一. 本实验评价了新型缓释化肥对温室气体排放和水体污染的影响,采用密闭箱法,在饱和田间持水量(WFPS) 60%的条件下,检测恒温(23℃)环境中土壤温室气体(CO₂、CH₄、N₂O)和NH₃挥发. 结果表明,30 d内缓释尿素组比普通尿素组释放的CO₂、CH₄、N₂O平均排放通量分别降低24.69%、3.01%、26.75%,NH₃排放量减少24.36%;模拟降雨条件的淋溶实验(15 d)显示,缓释尿素组的淋失率明显低于普通尿素组,总氮减少6.97%,尿素氮减少4.75%,缓释尿素和普通尿素组淋出水样中尿素氮和总氮量所占比重均在淋溶第1 d最大,缓释尿素组尿素氮和总氮量分别为36.1%和41.23%,普通尿素组尿素氮和总氮量分别为48.7%和72.4%. 结果表明,缓释尿素较普通尿素在削减温室气体排放和氨排放有明显的效果.

关键词:缓释尿素;普通尿素;温室气体;淋失率

文章编号:0253-2468(2013)10-2840-08

中图分类号:X171

文献标识码:A

Effects of controlled release urea on greenhouse gases, NH₃ emissions and eluviation

DING Weijun^{1,2},TAO Linhai^{1,2},WU Lin^{2,3},NI Xiaoyu^{2,3},WU Yuejin^{2,3},WANG Yu^{1,*}

1. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601

2. Key Laboratory of Ion Beam Bioengineering, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031

3. Institute of Technical Biology and Agricultural Engineering, Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031

Received 10 December 2012;

received in revised form 2 April 2013;

accepted 2 April 2013

Abstract: The environmental risks caused by emissions of greenhouse gases, NH₃ and sewage disposal are becoming increasingly prominent. In particular, emission of fertilizer and other agricultural disposal is one of the important sources. In this study, we evaluated the effects of late-model fertilizer on greenhouse emissions and water pollution. By using the closed chamber method under 60% water-filled porespace (WFPS), the emissions of CO₂, CH₄, N₂O and NH₃ were examined at 23℃. Our results showed that the average emissions of CO₂, CH₄ and N₂O obtained from slow release urea were reduced by 24.69%, 3.01% and 26.75%, respectively, comparing to the regular urea. The emission of NH₃ was reduced by 24.36%. In the experiment of simulated rainfall (15 d), the leaching rate of slow release urea was significantly lower than the regular urea, with 6.97% reduction of total nitrogen and 4.75% reduction of urea nitrogen. In both the slow release urea and regular urea, the leaching of total nitrogen and urea nitrogen were detected mainly on the first day. The content of total urea nitrogen and total nitrogen for the slow release urea were 36.1% and 41.23%, respectively, significantly less than 48.7% and 72.4% for the regular urea. Our results demonstrated a significant benefit of slow release urea in reducing the emission of greenhouse gases and NH₃, comparing to the regular urea.

Keywords: slow release urea; regular urea; greenhouse gases; leaching rate

基金项目: 院企合作项目

Supported by the Cooperation Project of Chinese Academy of Sciences and Enterprise

作者简介: 丁维军(1986—),男,E-mail: weijun.ding@163.com; *通讯作者(责任作者),E-mail: yuwang800@hotmail.com

Biography: DING Weijun(1986—),male, E-mail: weijun.ding@163.com; *Corresponding author, E-mail: yuwang800@hotmail.com

1 引言 (Introduction)

近年来,温室气体(CO₂、CH₄、N₂O)和NH₃的排放及水体污染成了全球热点问题,其中,化肥施用等农业排放是重要来源之一.缓释化肥在提高化肥利用率方面发挥着重要作用,研究其在减少温室气体排放和肥料淋失方面起到的作用有着重要意义.

研究显示,大气中每年有5%~20%的CO₂、15%~30%的CH₄、80%~90%的N₂O(Hansen *et al.*, 1990),及1%~47%的NH₃(时亚文等, 2011)来源于土壤,农田土壤是温室气体的重要排放源(Melillo *et al.*, 2002).我国现已成为世界上氮肥施用量最多的国家(中国农业年鉴编委会, 2005).氮肥施用量的增加及施肥方式的不合理引发了水体富营养化、温室气体排放、大气污染等诸多生态环境问题,而这些问题正在威胁着人类的健康和生态环境安全(朱兆良, 1985).缓释肥是将普通肥料通过使用一定的技术和材料,控制肥料在土壤中的释放或者减慢肥料在土壤中的释放速率,从而达到为植物长久提供营养的目的(Cai *et al.*, 2009).由于缓释化肥具有缓慢释放养分或根据作物对养分的需求特性释放养分的特点,被认为是提高化肥利用率有效途径之一,Stutterheim等(1994)在总结了欧洲5个国家10年间35个直播水稻点缓释肥料与传统肥料氮素利用率发现,缓释肥料的氮素利用率高达58%,而普通肥料氮素利用率只有21%~32%.国内一些学者研究发现,在水稻田施用缓释肥料氮素利用率高达70%多,比普通尿素高30%多,在早稻施用控释氮肥,氮素利用率更是高达72.6%~86.9%,比等氮量尿素处理平均高出41.7%(徐明岗等, 2005;宋付朋等, 2005;王德建等, 2003;戴平安等, 2003;秦道珠等, 2008;焦晓光等, 2003;符建荣, 2001;王小利等, 2003),证明了控释氮肥的营养效果.进一步的研究表明,氮、磷、钾利用率大小顺序为:控释肥>普通肥料,氮的损失率大小顺序为:普通肥料>控释肥(邵蕾等, 2006).

但目前有关缓释氮肥对减少温室气体排放和肥料淋失的研究鲜有报道,因而对新型缓释氮肥在减少化肥环境排放和削减面源污染方面的作用认识不足,影响其应用推广.因此,本实验采用密闭气箱法,研究新型缓释尿素施入土壤后,土壤主要温室气体(CO₂、CH₄、N₂O)和NH₃排放及氮肥向地下淋失的情况,旨在探明新型缓释氮肥在解决环境排

放和污染中的可能影响.

2 材料与方法 (Materials and methods)

2.1 实验设计

本实验所用的稻田土来源于安徽省合肥市科学岛研究基地(31°52'N, 117°15'E),该地区年降雨量约为1000 mm,其土壤类型为典型的黄棕壤轻粘土,土壤有机质含量为1.98 g·kg⁻¹,土壤总氮含量为0.11 g·kg⁻¹,pH为5.21.供试土壤分为3组,分别为空白对照组(未施肥实验组,CK)、普通尿素实验组(施加普通尿素,A(U))、缓释尿素实验组(施加缓释尿素,B(CU)),每个处理组设3组平行,各组的面积为0.17 m².各实验组中,A(U)、B(CU)组均按照m(土壤):m(氮肥)=200:1将土壤和化肥均匀混合,加入的氮量为53.08 g,A(U)组施加普通尿素125.0 g(N含量为42.46%),B(CU)组施加缓释尿素128.1 g(N含量为41.44%).实验在尺寸为48 cm×35 cm×33 cm(长×宽×高)的塑料箱中进行,箱内土层厚为16 cm.实验室气温和土壤温度保持在(23±2) °C.

2.2 样品采集与检测方法

2.2.1 温室气体和NH₃样品采集和测定 采样孔为直径4 mm的硅胶管,采样时间为每天早上8:00—10:00,每24 h采样1次,实验过程在完全密闭的情况下累计检测30 d温室气体(CO₂、N₂O、CH₄)和NH₃的浓度变化.

NH₃的检测采用洗气法(杜芳义等, 2001),气体循环过程如图1a所示,塑料箱中土壤表面到箱盖之间空间约为30 L,一次采样以微型真空泵(3 L·min⁻¹)循环10 min,用2%的硼酸吸收液吸氨气,用0.01 mol·L⁻¹的盐酸反滴定,并计算氨气的质量.

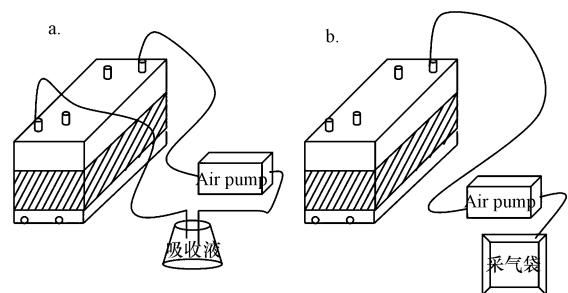


图1 气体循环(a)和气体采样(b)示意图

Fig. 1 Schematic diagram of gas circulation (a) and collection (b)

温室气体(CO₂、N₂O、CH₄)采用静态密闭箱-气

相色谱法 (Raich *et al.*, 1990) 测定, 用气体采样袋收集样品 (图 1b), 每次取样时间为 7 s, 所收集到的

气体样品采用 Agilent7820 气相色谱测定, 工作条件见表 1.

表 1 气相色谱设备

Table 1 Gas chromatography equipment

目标化合物	色谱柱	载气/流量 ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	柱箱温度 / $^{\circ}\text{C}$	转化器及 温度/ $^{\circ}\text{C}$	检测器及 温度/ $^{\circ}\text{C}$	空气及高纯 H_2 尾吹流量 ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	出峰保留 时间/min
CH_4	Col1: SS—3 m \times 2 mm \times PorapakQ (80/100) Col2: SS—3 m \times 2 mm \times PorapakQ (80/100)	高纯 $\text{N}_2/30$	55	—	FID, 300	空气 400, H_2 45	1.7
CO_2	Col1: SS—3 m \times 2 mm \times PorapakQ (80/100) Col2: SS—6 m \times 2 mm \times PorapakQ (80/100)	高纯 $\text{N}_2/30$	55	镍触媒, 375	FID, 300	空气 400, H_2 45	3.1
N_2O	Col3: SS—6 m \times 2 mm \times PorapakQ (80/100) Col4: SS—3 m \times 2 mm \times PorapakQ (80/100)	高纯 $\text{N}_2/25$	55	—	ECD, 250	H_2 45, Ar/CH_4 20	4.4

2.2.2 肥料淋失率的测定 采用模拟降雨的方法对塑料箱进行人工降雨, 每天降雨 1 次. 降雨量 (H) 按照公式: $H = H_{\text{试}} \times 60\% / 15$ 计算 (胡克林等, 2004), 其中, $H_{\text{试}}$ 为试验地年降雨量 (mm).

合肥市年降雨量为 1000 mm, 计算获得每次降雨量为 40 mm, 在箱子底部放置一个托盘, 使其与箱子胶粘密封, 在托盘侧面打洞, 以便将收集到的渗漏液收集到三角瓶中, 检测三角瓶水样中的尿素和总氮, 水样中的尿素按照对二甲氨基苯甲醛法检测 (苗晓杰等, 2011), 总氮采用水样总氮国标法检测 (张宪伟, 2012).

2.3 温室气体排放通量计算及数据处理

温室气体排放通量计算公式如下 (Zheng *et al.*, 1998):

$$F = \rho \cdot 273 / (273 + T) \cdot h \cdot dC / dt$$

式中, F 为排放通量 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); ρ 为标准大气压下的 CH_4 、 N_2O 及 CO_2 密度, 取值分别为 0.714、1.98、1.97 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; T 为采样过程中采样箱内的平均温度 ($^{\circ}\text{C}$); h 为采样箱的箱罩的净高度 (m); dC/dt 为采样箱内温室气体浓度的变化率.

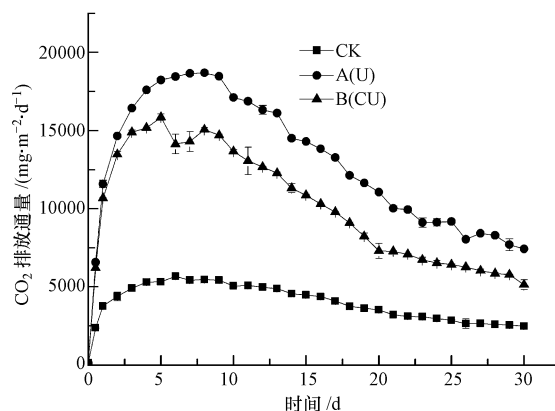
数据均为采样结果的平均值, 相关系数显著性判断采用 SPSS19.0 做单因素方差分析. 所得数据采用 Origin8.0 和 Microsoft Excel for Windows2003 进行处理.

3 结果与分析 (Results and discussion)

3.1 不同类型氮肥处理对土壤中温室气体和 NH_3 排放影响

3.1.1 不同类型氮肥处理对土壤中 CO_2 排放的影响 图 2 为 CO_2 排放通量的变化曲线, 由图可知, 对

照组 CK、A(U) 和 B(CU) 组的 CO_2 排放通量分别在施肥后的第 6、7、5 d 出现峰值, 其大小顺序为 A(U) > B(CU) > CK. 与 A(U) 组相比, B(CU) 组 CO_2 排放通量在最大峰值时降低 2836.63 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 平均排放通量降低 2740.16 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. 说明缓释化肥对 CO_2 释放起到了缓减的作用.

图 2 不同氮肥处理对 CO_2 排放通量的影响Fig. 2 The effects of different types of nitrogen fertilizers on CO_2 emission from soil

在各种温室气体对温室效应的贡献中, CO_2 的贡献最为显著, 约占 55% ~ 60% (郑乐平, 1998). 本实验中, 由于处理组施肥的原因, A(U) 和 B(CU) 处理在整个实验过程当中 CO_2 浓度一直高于 CK 组. 有研究表明, 施肥能够明显地促进土壤呼吸释放 CO_2 的速率 (Xiao *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2007). 由实验可知, 施用肥料促进了 CO_2 的释放, 这与前人研究 (Xiao *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2007) 结果相一致, 而 B(CU) 组 CO_2 的排放通量低于 A(U) 组, 说明与普通尿素组相比, 缓释尿素组对 CO_2 的释放具有一定的减排作用.

3.1.2 不同类型氮肥处理对土壤中 CH₄ 排放的影响 图 3 为不同类型氮肥对土壤中 CH₄ 排放的影响,由图可知,施肥后,CK 组的 CH₄ 排放通量呈缓慢上升趋势,在 15 d 时达到峰值;而 A(U) 和 B(CU) 处理的 CH₄ 排放通量在施肥后前 4 d 呈下降趋势,第 5 d 开始迅速增加, A(U) 和 B(CU) 处理的 CH₄ 排放通量峰值分别在施肥后的第 15、16 d 出现. 与 A(U) 处理的 CH₄ 排放通量最大峰值相比, B(CU) 处理的 CH₄ 排放通量峰值降低了 $24.36 \times 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 平均排放通量降低 $23.35 \times 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

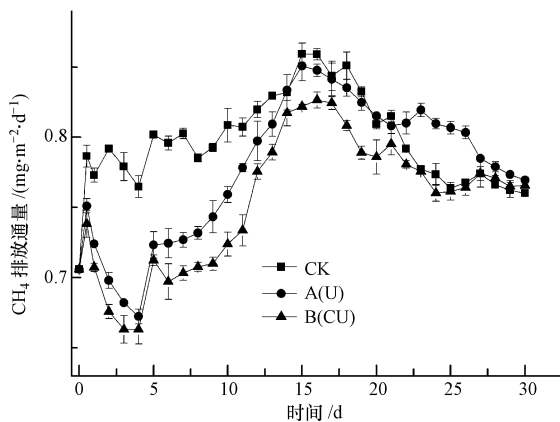


图 3 不同类型氮肥处理对 CH₄ 排放通量的影响

Fig. 3 The effects of different types of nitrogen fertilizers on CH₄ emission from soil

农田中的 CH₄ 主要是由土壤中的有机质在厌氧条件下经过产甲烷菌的分解而产生的. 由本实验可知,由于施肥的原因,处理组 CH₄ 的释放速率被抑制,且缓释尿素处理 CH₄ 的释放速率低于普通尿素处理. 研究表明,长期使用无机肥料可以显著地影响旱地土壤对 CH₄ 氧化的抑制作用,英国洛桑实验站于 1843 年开始的“Broadbalk 小麦试验”测定了无机氮肥的长期效应,结果表明,CH₄ 氧化速率最高值出现在无氮肥处理的小区 (Hütsch *et al.*, 1993). 本实验同样得出,施肥对 CH₄ 的释放速率能起到抑制作用,且缓释尿素处理对 CH₄ 的减排作用更好.

3.1.3 不同类型氮肥处理对土壤中 N₂O 排放的影响 图 4 为不同类型氮肥处理对土壤中 N₂O 排放的影响. 由图可知,CK 组的 N₂O 排放先呈上升的趋势,在第 9 d 时达到峰值;而施肥组的 N₂O 排放一直呈上升的趋势,在第 23 d 时,开始迅速上升并超过 CK 组. A(U) 处理的 N₂O 排放通量始终高于 B(CU) 处理,且 B(CU) 组的 N₂O 排放通量在第 29 d

达到峰值后开始下降. CK、A(U) 和 B(CU) 组的 N₂O 最大排放通量分别为 2.38 、 6.92 、 $5.34 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 即 $A(U) > B(CU) > CK$, B(CU) 处理的 N₂O 平均排放通量比 A(U) 处理少 $0.73 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

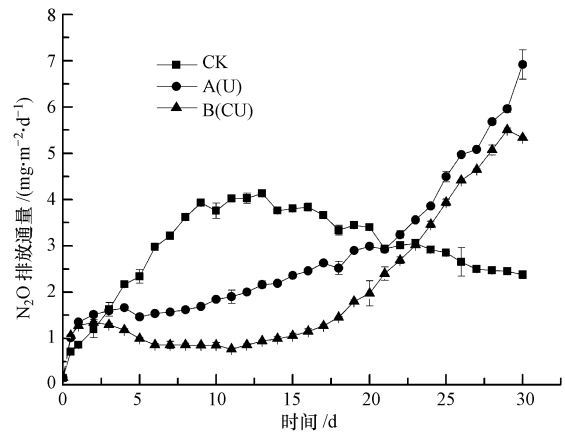


图 4 不同类型氮肥处理对 N₂O 排放通量的影响

Fig. 4 The effects of different types of nitrogen fertilizers on N₂O emission from soil

本实验中,CK 组中由于没有施肥,没有充足的氮源,因此,在实验过程中 N₂O 排放通量很快达到最大值后呈缓慢下降趋势;而处理组有充足的氮源,开始时 N₂O 的释放速率较为缓慢,到后期快速增加. 说明田间施肥能够促进 N₂O 的排放,这一点与前人 (宋长春等,2006; 王书伟等,2008) 的研究结果一致;而缓释尿素组的 N₂O 释放速率一直低于普通尿素组,丁洪等 (2010) 的研究也得出同样的结果. 化学氮肥的施用对农田土壤 N₂O 的排放有明显的促进作用,是农业土壤中 N₂O 的最大来源. 研究发现,用化学氮肥处理的玉米田和春小麦田, N₂O 的释放量分别是无 N 处理的 3.88 倍和 1.10 倍 (宋长春等,2006); 在对水沼泽湿地 N₂O 排放的研究也得出类似的结论 (王书伟等,2009). 农业土壤中由于大量施用氮肥,土壤每年向大气释放的 N₂O 约为 3 Mt (以 N 计) (Bouwman, 1990).

3.1.4 不同类型氮肥处理对土壤中 NH₃ 排放的影响 图 5 为不同类型氮肥处理对土壤中 NH₃ 排放的影响. 本实验中, NH₃ 通过 2% 的硼酸吸收液 (指示剂为甲基红-溴甲酚绿指示剂) 吸收,然后用盐酸进行反滴定,最后计算出氨气的量 (检测到的 NH₃ 含量为累积吸收量). 由图 5 可知,前 4 d NH₃ 的释放较为缓慢,吸收液的颜色未变;在第 5 d 吸收液开始出现变色现象,且 NH₃ 的释放量开始增加;第 13 d 时 NH₃ 释放量达到峰值,之后基本呈缓慢的下降趋

势. 在实验中, CK、A(U) 和 B(CU) 组释放的 NH_3 分别为 0.0507、0.1318、0.0997 g, 排序为: CK > A(U) > B(CU).

肥料是土壤中 NH_3 排放的主要影响因素之一, NH_3 亦是肥料损失的一种重要途径. 本实验中, 处理组 NH_3 排放量都高于对照组, 而普通尿素组 NH_3 的释放量高于缓释尿素组. 贺发云等(2005)对野外菜地土壤进行追肥研究发现, 追肥后土壤中 NH_3 的挥发速率加快, 土壤中 NH_3 挥发持续时间达 12~18 d 之久. 普通尿素是裸露在田间的, 易被微生物分解, 而缓释尿素有缓释剂的包被, 具有缓慢释放尿素的作用, 因此, 土壤 NH_3 的挥发速率较慢.

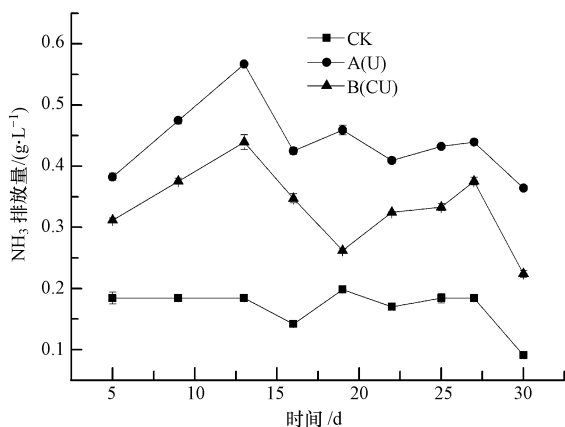


图5 不同氮肥处理对 NH_3 排放通量的影响

Fig. 5 The effects of different types of nitrogen fertilizers on total NH_3 emission

3.1.5 不同氮肥处理对温室气体和 NH_3 排放通量影响的变化 表2为不同氮肥处理下温室气体和 NH_3 平均排放通量影响的变化. 由表2可知, CO_2 和 NH_3 平均排放通量中, CK 组最小, A(U) 组最大, A(U)、B(CU) 组平均排放通量相对 CK 组均达到极显著水平 ($p < 0.01$), 说明施肥能够促进田间 CO_2 和 NH_3 的释放; 而 B(CU) 组的 CO_2 和 NH_3 平均排放通量相对 A(U) 组达到极显著水平 ($p < 0.01$), 说明与普通尿素相比, 缓释尿素对 CO_2 和 NH_3 的排放起到明显的抑制作用.

本实验中, 各处理组 CH_4 平均排放通量都低于对照组, A(U) 组的 CH_4 平均排放通量相对 CK 组达到显著水平 ($p < 0.05$), 但没达到极显著水平; B(CU) 组的 CH_4 平均排放通量相对 A(U) 和 CK 组都达到极显著水平 ($p < 0.01$), 说明相比与普通尿素, 缓释尿素对 CH_4 的排放具有很明显的抑制作用.

由表2还可知, N_2O 平均排放通量中, CK 组最

大, 处理组平均排放通量都低于 CK 组, B(CU) 组平均排放通量最小; A(U) 组的 N_2O 平均排放通量相对 CK 组差异不显著 ($p > 0.05$), 说明施普通尿素与不施肥处理对 N_2O 排放影响不大; B(CU) 组的 N_2O 平均排放通量相对 A(U) 和 CK 组都达到极显著 ($p < 0.01$), 说明缓释尿素对 N_2O 的释放有明显的抑制作用.

表2 不同氮肥处理下温室气体和 NH_3 平均排放通量的变化
Table 2 The average emission flux of greenhouse gas and NH_3 with treatment by different types of nitrogen fertilizers

处理	平均排放通量/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)			NH_3 排放量 /g
	CO_2	CH_4	N_2O	
CK	3909.22 ^c	0.7964 ^a	2.85 ^a	0.0507 ^c
A(U)	12634.00 ^a	0.7763 ^b	2.74 ^a	0.1318 ^a
B(CU)	9893.84 ^b	0.7529 ^c	2.01 ^b	0.0997 ^b

3.2 不同肥料处理对养分淋失量的影响

3.2.1 不同肥料处理对尿素淋出量的影响 图6为施加不同氮肥对水样尿素释放的影响结果. 由图可知, 第1 d 尿素的淋出量所占比重最大, A(U) 组淋出尿素 60.88 g, 占施肥总量的 48.7%; B(CU) 组尿素淋出 36.20 g, 占施肥总量的 35.23%, B(CU) 组比 A(U) 组少淋出尿素 24.68 g; 从第2 d 开始, B(CU) 组尿素淋出量超过 A(U) 组; 整个实验过程中, A(U) 组淋出尿素占施肥总量的 84.98%, B(CU) 组淋出尿素占施肥总量的 80.20%, A(U) 组比 B(CU) 组多淋出尿素 3.50 g. 说明缓释尿素的淋出速率比普通尿素缓慢, 并且淋出总量少.

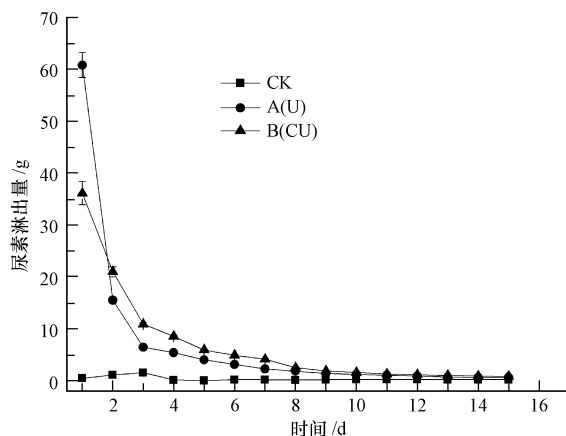


图6 不同氮肥处理对水样尿素淋出量的影响

Fig. 6 The effects of different types of nitrogen fertilizers on urea leaching loss of water samples

3.2.2 不同肥料处理对总氮淋出量的影响 图7

为不同肥料处理下水样中总氮变化情况. 由图可知,总氮的淋出趋势和尿素的淋出趋势基本吻合. 第1 d, A(U)组水样淋出总氮 38.41 g,占施肥总氮量的 72.36%;B(CU)组水样淋出总氮 21.87 g,占施肥总氮量的 41.23%,A(U)组比B(CU)组多淋出总氮 31.13%. 从第2 d开始,B(CU)组淋出总氮量超过A(U)组. 整个实验过程中,A(U)组累计淋出总氮 45.70 g,占施肥总氮量的 86.10%,B(CU)组淋出总氮 42.00 g,占施肥总氮量的 79.13%,A(U)组比B(CU)组多淋出总氮 3.70 g,占施肥总氮量的 6.97%.

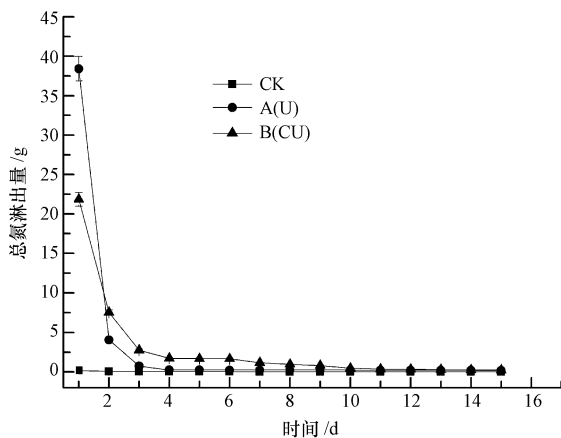


图7 不同氮肥处理对水样总氮淋出量的影响

Fig. 7 The effects of different types of nitrogen fertilizers on total nitrogen leaching loss of water samples

3.2.3 不同氮肥处理下养分淋出量的显著性分析

由表3可知,施肥处理组第1 d的尿素和总氮淋出量占施肥总量的比例很大,处理组相对CK组均达到极显著水平($p < 0.01$),而B(CU)组相对A(U)组的差异性也达到了极显著水平($p < 0.01$),说明缓释尿素对养分的释放能起到很好的缓释作用. 在整个实验过程中,A(U)组淋出尿素和总氮分别为 106.23 g 和 45.70 g,B(CU)组淋出尿素和总氮分别为 102.73 g 和 42.00 g,处理组相对CK组均达到极显著水平($p < 0.01$),且B(CU)组相对A(U)

表3 不同氮肥处理下尿素和总氮淋出量的显著性分析

Table 3 Significance analysis of urea and total nitrogen leaching flux with treatment by different types of nitrogen fertilizers

处理	水样中尿素的淋出量/g		水样中总氮的淋出量/g	
	第1 d	累计	第1 d	累计
CK	0.47 ^c	5.28 ^c	0.18 ^c	0.44 ^c
A(U)	60.88 ^a	106.23 ^a	38.41 ^a	45.70 ^a
B(CU)	36.20 ^b	102.73 ^b	21.87 ^b	42.00 ^b

组的差异达到显著水平($p < 0.05$). 说明缓释尿素对养分的释放具有一定的缓释作用,总氮淋出量是尿素和少量土壤中氮淋出量的总和,因此,总氮的淋出趋势和尿素的淋出趋势基本符合.

4 讨论(Discussion)

随着人们对肥料增产作用的认识,逐渐出现了过分依赖和过量施用化肥的情况,导致肥料利用率低,不仅大大降低了肥料的经济效益,而且对环境造成了严重的污染,严重威胁到人们的身体健康(金绍龄等,1996;1993;朱兆良,2000;崔玉亭等,2000). 目前,我国化肥的当季利用率氮肥约为 30%~35%,氮素的损失严重. 因此,提高化肥利用率,减少因施肥而造成的污染,发展可持续高效农业已成为目前人们共同关注的问题(张民等,2001).

缓释化肥是解决温室气体和 NH₃ 排放,提高肥料利用率等问题的良好措施. 其释放机理是高分子材料将肥料包裹(包膜型缓释化肥)或者两者相混合(内置型缓释化肥),然后施到田间,肥料中的高分子材料被微生物缓慢降解,同时将肥料中的养分释放. 大量有关缓释化肥的研究主要集中在对农作物的增产和提高肥料利用率等方面,如徐秋明等(2005)的研究表明,在减少 20% 氮肥用量并采用玉米全生育期一次性基施的措施下,缓释尿素的玉米产量和吸氮量与常规施肥措施的尿素处理持平,而氮肥利用率略有提高;孙锡发等(2009)研究了在中高肥力土壤上分别施用缓释化肥和普通化肥后的小麦产量,结果显示,缓释尿素比普通尿素增产 9.97%,小麦在中低肥力土壤上分别施用缓释化肥和普通化肥后,缓释尿素比普通尿素增产 27.01%;钟雪梅等(2006)研究发现,尿素施加到土壤后淋失比较严重,而缓释化肥的淋失率低于普通尿素处理,并达到显著水平,而且缓释化肥对氮素利用率可提高 10%~25%.

本实验主要研究了普通尿素和缓释尿素对温室气体和 NH₃ 排放及对肥料淋失率等的影响. 结果表明,缓释尿素处理的温室气体和 NH₃ 释放速率均比普通尿素低,缓释尿素组的 CO₂、CH₄、N₂O 平均排放通量比普通尿素组分别降低 24.69%、3.01%、26.75%,NH₃ 排放量减少 24.36%. 对缓释尿素和普通尿素的淋失率研究表明,缓释尿素能起到很明显的缓释作用,缓释尿素比普通尿素处理的总氮淋出量减少 6.97%,尿素氮淋出量减少 4.75%,缓释尿

素和普通尿素组淋出水样中尿素和总氮在第 1 d 占了很大的比重,缓释尿素组尿素氮和总氮量分别为 36.1% 和 41.23%,普通尿素组尿素氮和总氮量分别为 48.7% 和 72.4%。本实验为以后更深入地研究缓释化肥对温室气体减排、农作物增产,以及降低养分流失和农业应用等方面提供了理论依据。

由于本实验采用塑料箱作为一个体系来研究缓释化肥的影响,研究面积太小,还不能准确地体现出缓释化肥施到田间产生的效果;土层深度不够,只能体现出耕作层的情况;实验在恒温、恒湿的情况下模拟自然条件,不能与实际自然条件相比较。因此,想要更准确地反映缓释化肥的优势,需在自然条件下并在试验田中进行进一步实验。

5 结论 (Conclusions)

本实验研究表明,施加缓释尿素后温室气体 (CO_2 、 N_2O 、 CH_4) 及 NH_3 的排放量比普通尿素的释放量少,且养分释放速率缓慢,淋失率低,即缓释尿素一定程度上提高了土壤养分,促进了植物的生长。同时,本研究是在密闭箱内进行,没有植物生长,排除了植物呼吸对温室气体产生的影响,检测到的温室气体是由土壤中微生物对肥料进行代谢产生的,得到的结果可作为肥料在田间释放的参考依据。

责任作者简介:王钰(1957—),女,教授,博士生导师,主要研究方向为中药材资源保存及可持续利用、食(药)用菌菌种筛选、育种及栽培技术。安徽省中药材学科和安徽省作物遗传育种学科带头人,安徽省有突出贡献科学家,安徽省中药材产业技术体系首席专家。享受国务院政府津贴;安徽省食用菌协会常务理事、安徽省食用菌产业技术联盟副会长,安徽省植物学会理事。

参考文献 (References):

Bouwman A F. 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere//Bouwman A F. Soils and the Greenhouse Effect[M]. New York, USA: Wiley. 61-127

Cai D Q, Wu Z Y, Jiang J J, *et al.* 2009. A unique technology to transform inorganic nanorods into nano-networks [J]. *Nanotechnology*, 20: 255-302

崔玉亭,程序,韩纯儒,等. 2000. 苏南太湖流域水稻经济生态适宜施氮量研究[J]. *生态学报*, 20(4): 659-662

戴平安,聂军,郑圣先,等. 2003. 不同土壤肥力条件下水稻控释氮肥效应及其氮素利用的研究[J]. *土壤通报*, (2): 115-119

丁洪,王跃思,秦胜金,等. 2010. 控释肥对土壤氮素反硝化损失和 N_2O 排放的影响[J]. *农业环境科学学报*, 29(5): 1015-1019

杜芳义,张国云. 2001. 鸡舍的氨气检测法[J]. *畜牧兽医科技信息*, (4): 11-12

符建荣. 2001. 控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 7(2): 145-152

Hansen J E, Laci A A. 1990. Sun and dust versus greenhouse gases: An assessment of their relative roles in global climate change[J]. *Nature*, 346(6286): 713-719

贺发云,尹斌,金雪霞,等. 2005. 南京两种菜地土壤氮挥发的研究[J]. *土壤学*, 42(2): 253-259

胡克林,李保国,陈德立,等. 2004. 预测农田水分渗漏和氮素淋失的两种模型比较[J]. *水科学进展*, (15): 87-93

Hütsch B W, Webster C P, Powlson D S. 1993. Long-term effects of nitrogen fertilization on methane oxidation in soil of the broadbalk wheat experiment[J]. *Soil Biol Biochem*, 25(10): 1307-1315

焦晓光,罗盛国,闻大中. 2003. 控释尿素施用对水稻吸氮量及产量的影响[J]. *土壤通报*, 34(6): 525-528

金绍龄,李隆,张丽慧,等. 1996. 小麦/玉米带田作物氮营养特点[J]. *西北农业大学学报*, 24(5): 35-41

金绍龄,张丽慧,李隆. 1993. 小麦/玉米带田一种作物施用氮肥对配作物氮营养的影响[J]. *西北农业学报*, 2(3): 1-6

Melillo J M, Stuedler P A, Aber J D, *et al.* 2002. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system[J]. *Science*, 298(5601): 2173-2176

苗晓杰,蒋恩臣,王佳,等. 2011. 对二甲氨基苯甲醛显色分光光度法检测水溶液中常量尿素[J]. *东北农业大学学报*, 42(8): 87-91

秦道珠,黄平娜,徐明岗,等. 2008. 施用控释肥对梗稻生长发育及产量的影响[J]. *中国农学通报*, 24(8): 283-286

Raich J W, Bowden R D, Stuedler P A. 1990. Comparison of tow static chamber techniques for determining carbon dioxide efflux from forest soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 1754-1757

邵蕾,张民,王丽霞. 2006. 不同控释肥类型及施肥方式对肥料利用率和氮素平衡的影响[J]. *水土保持学报*, 20(6): 115-119

时亚文,李宙炜,阳剑,等. 2011. 农田系统氮挥发与温室气体排放研究进展[J]. *作物研究*, 25(4): 621-625

宋长春,张丽华,王毅勇. 2006. 淡水沼泽湿地 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放通量年际变化及其对氮输入的响应[J]. *环境科学*, 27(12): 2369-2375

宋付朋,张民,史衍玺,等. 2005. 控释氮肥的氮素释放特征及其对水稻的增产效应[J]. *土壤学报*, 42(4): 619-627

Stutterheim N C, Barbier J M, Nougaredes B. 1994. The efficiency of fertilizer nitrogen in irrigated, direct seeded rice (*O. sativa* L.) in Europe [J]. *Fertilizer Research*, 37(3): 235-244

孙锡发,涂仕华,秦鱼生,等. 2009. 控释尿素对水稻产量和肥料利用率的影响研究[J]. *西南农业学报*, 22(4): 984-989

王德建,林静慧,孙瑞娟,等. 2003. 太湖地区稻麦高产的氮肥适宜用量及其对地下水的影响[J]. *土壤学报*, 40(3): 426-432

王书伟,廖千家骅,胡玉婷,等. 2009. 我国 NH_3 -N 排放量及空间分布变化初步研究[J]. *农业环境科学学报*, 28(3): 619-626

王小利,周建斌,郑险峰,等. 2003. 控释氮肥养分控释效果及合理施用研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 9(4): 390-395

Xiao Y, Xie G D, Lu C X, *et al.* 2005. The value of gas exchange as a

- service by rice paddies in suburban Shanghai, PR China [J].
Agricultural, Ecosystems & Environment, 109: 273-283
- 徐明岗,孙小凤,邹长明,等. 2005. 稻田控释氮肥的施用效果与合理施用技术[J]. *植物营养与肥料学报*, 11(4): 487-493
- 徐秋明,曹兵,牛长青,等. 2005. 包衣尿素在田间的溶出特征和对夏玉米产量及氮肥利用率影响的研究[J]. *土壤通报*, 36(3): 357-359
- 张民,史衍玺. 2001. 控释和缓释肥的研究现状与进展[J]. *化肥工业*, 28(5): 27-30
- 张宪伟. 2012. 国标法测定总氮过程中若干常见问题的探讨[J]. *科学观察*, (3): 64-65
- Zhang J F, Zhang X H, Li L Q, *et al.* 2007. Effect of long-term fertilization on C mineralization and production of CH₄ and CO₂ under anaerobic incubation from bulk samples and particle size fractions of a typical paddy soil [J]. *Agricultural, Ecosystems & Environment*, 120: 129-138
- Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, *et al.* 1998. Comparison of manual and automatic methods for measurement of methane emission from rice paddy fields [J]. *Advances Atmospheres Science*, 15(4): 569-579
- 郑乐平. 1998. 温室气体 CO₂的另一源——地球内部[J]. *环境科学研究*, 11(2): 21-24
- 《中国农业年鉴》编委会. 2005. 中国农业年鉴 2004[M]. 北京: 中国农业出版社. 300-306
- 钟雪梅,朱义年,刘杰,等. 2006. 竹炭包膜对肥料氮淋溶和有效性的影响[J]. *农业环境科学学报*, 25(增刊): 154-157
- 朱兆良. 1985. 我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展[J]. *土壤*, 17(1): 2-9
- 朱兆良. 2000. 农田中氮肥的损失与对策[J]. *土壤与环境*, 9(1): 1-6