

典型红壤区稻田树脂包膜控释氮肥氨挥发研究^①王霞¹, 崔健^{2,3}, 周静^{2*}

(1 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008;

3 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

摘要: 本文研究了红壤水稻土上, 树脂包膜尿素(控释 N 肥)和普通尿素施用后氨挥发损失的过程及数量。结果表明: ①基施后 2~4 天内和追施后的 1~2 天内, 控释 N 肥氨挥发通量相对普通尿素处理均有下降, 下降幅度分别为 28.57% 和 25.00%; 控释 N 肥氨挥发峰值分别于基肥后第 5 天和追肥后第 4 天出现, 均滞后于普通尿素处理。②追肥 2 天后, 控释 N 肥氨挥发通量极显著高于普通尿素处理。因此, 只有采取合理的基肥方式, 控释 N 肥才能比普通尿素发挥更大的环境效益。

关键词: 控释氮肥; 普通尿素; 氨挥发; 红壤

中图分类号: S145.5

尿素施用所带来的环境问题已成为全球关注的议题。氨挥发是尿素施入农田后的主要损失途径之一^[1]。在石灰性、中性或微酸性土壤中都有明显的氨挥发^[2], 其损失量占施 N 量的 0.41%~40%^[3], 尤其是在大力发展的设施农业中, 高氨挥发量对作物生长极为不利^[4], 不但会造成巨大的经济损失, 还会产生影响大气环境的温室气体 N₂O^[5]。

为了提高肥料的有效性, 继发达国家后(如美国、日本、以色列)^[6], 中国也逐渐推进了控释性肥料的规模化生产和销售^[7]。据资料表明: 现阶段的研究多关注于这类肥料的增产效益^[8-9], 而对其环境效应的研究还不足。虽然有报道研究控释 N 肥的氨挥发情况, 但试验中控释 N 肥与普通尿素处理的施用方式并不相同^[10-12]。前者采用全量基肥, 而后者采用传统的基肥+追肥方式。不同的施用方式必然影响了氨挥发的程度, 这对于量化控释 N 肥的氨挥发时存在一定的干扰。因此, 本研究设定在同等施用方式下(基肥+追肥), 系统研究控释 N 肥的氨挥发损失情况, 这对于了解控释 N 肥的环境控释效应更有意义, 并为开展控

释肥环境效应评价提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验设在江西鹰潭中国科学院红壤生态实验站, 供试土壤为第四纪红黏壤, 其基本理化性质如表 1。供试水稻品种为鹰优 3 号。供试控释 N 肥为山东临沂金正大集团生产的树脂包膜控释尿素(N 42%); 供试普通尿素为河南大通化工股份有限公司生产(N 46%); 供试复合肥为上海阿波罗复合肥有限公司生产的波特牌(N-P₂O₅-K₂O 15-15-15); 供试 P 肥为江西江磷磷肥有限责任公司生产的钙镁磷肥(P₂O₅≥12); 供试 K 肥为中化化肥有限公司售加拿大进口的氯化钾(K₂O≥60)。

1.2 试验设计

试验根据 N 肥品种及当地施肥量采用单因子差异重复法设计。设 3 个 N 肥处理: ①不施 N 肥(CK); ②仅施控释 N 肥(CN); ③仅施普通尿素(UN)。肥料的施用时期和使用量见表 2。

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of tested paddy soil

土层 (cm)	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	有效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	pH (H ₂ O)
0~20	11.93	0.80	0.57	11.20	59.75	13.43	124.07	5.43

① 基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(国 57002)资助。

* 通讯作者(zhoujing@issas.ac.cn)

作者简介: 王霞(1978—), 女, 山东泰安人, 博士, 工程师, 主要研究方向为生态学和有机农业。E-mail: wangx@ofdc.org.cn

表2 试验区肥料的施用时期和使用量

Table 2 Applying periods and levels of fertilizers in experimental region

处理	基肥 (kg/小区)				追肥 (kg/小区)			折合纯 N (kg/hm ²)
	普通尿素	控释 N 肥	P 肥	K 肥	普通尿素	控释 N 肥	K 肥	
CN	0	1.902	1.406	0.446	0	1.232	1.125	263.25
UN	1.737	0	1.406	0.446	1.125	0	1.125	263.25
CK	0	0	1.406	0.446	0	0	1.125	0

各处理均设3次重复,并随机排列到试验小区内。每个试验小区面积为50 m²,小区间用宽0.2 m、深1 m的水泥挡板隔开。试验稻田于2009年7月5—6日用旋耕机整地,基肥于7月6日下午撒施后旋耕机掩埋施入,追肥于7月15日(水稻返青期)下午撒施田面施入。水稻秧苗于2009年6月8日育种,于2009年7月7日移栽,每小区720穴(24×30),每穴4~5株,合65万株/hm²。试验区其他农艺措施均相同。

1.3 分析测定方法

氨挥发测定装置及捕获方法参见文献[13]。试验时段为2009年7月7—24日,共测定18天,36次,每次2 h(08:00~10:00, 15:00~17:00)。其中,基肥和追肥阶段分别为8天、16次和10天、20次。

1.4 统计方法

所测数据采用 SAS 8.0 软件邓肯新复极差法和线性回归法进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 稻田基-追施控释氮肥的氨挥发通量

肥料投入后持续监测氨挥发18天,其挥发通量如图1。其中,基施控释N肥后的第1天,没有监测到氨挥发的释放。基施后2~4天内和追施后的1~2天内,控释N肥处理(CN)氨挥发通量相对普通尿素处理(UN)均有下降,下降幅度分别为28.57%和25.00%,且CN处理氨挥发通量峰值出现在追施后3天,这与前人的研究结果基本一致^[13-14],可能与包膜材料对尿素养分的控释作用有关^[15-16]。普通尿素遇水快速水解,造成田面水氨浓度急剧升高,易在短时间(1~2天)内产生氨挥发;而控释N肥的控释性能延缓了尿素N的溶解和释放,故在前几天氨挥发通量相对较小^[14,17]。杜建军等^[15]的6种控/缓释N肥和周静等^[18]不同尿素用量的旱地氨挥发均得出类似氨挥发峰值的出现时间。

2.1.1 基施条件下氨的挥发通量

基施时间内(8

天),CN和UN处理氨挥发均呈抛物线趋势,且在2~4天内CN处理氨挥发通量均小于UN处理(图1)。

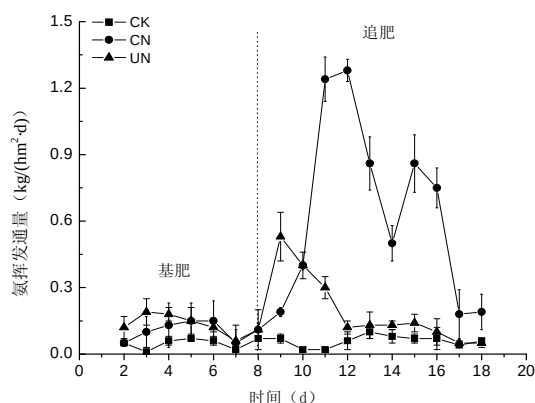


图1 红壤稻田基-追施控释N肥的氨挥发通量

Fig.1 Dynamics of ammonia flux for base and dressing controlled-release urea applied in red soil paddy

CK处理无明显的氨挥发峰值,UN处理于基肥后的第3天达到氨挥发峰值,CN处理滞后其2天,并在第4~6天持续维持在 0.16 ± 0.01 kg/(hm²·d);CK处理田面氨挥发通量变化不显著,基本维持在 0.05 ± 0.01 kg/(hm²·d)。基肥阶段红壤稻田氨挥发通量以UN处理最高,分别为CN和CK处理的1.2和3倍。CN处理与UN处理间未有显著性差异,但均与CK处理达到显著或极显著水平。

2.1.2 追施条件下的氨挥发通量 追施监测时间为10天。在追肥后的第1~2天内,CN处理田面氨挥发通量低于UN处理;第3~10天内,CN处理田面氨挥发通量明显高于UN处理(图1)。CN和UN处理氨挥发通量分别在追肥后的第4天和第2天达到峰值,而CK处理无明显的氨挥发峰值。追肥阶段CN处理氨挥发量通量平均为 0.59 kg/(hm²·d),为UN和CK处理的3.3和9.8倍,均达到差异极显著水平($n=30$, $p<0.01$);而UN与CK处理间的差异未达到显著水平。

2.2 稻田基-追施控释氮肥的氨挥发累积量

2.2.1 控释 N 肥的氨挥发动力学曲线 研究发现氨挥发累积量随时间的变化大致呈对数变化趋势(图 2)。在基肥后的第 10 天(即追肥后的第 2 天) CN 和 UN 处理的氨挥发累积量突增, 曲线斜率快速增加。将监测时间 t 的自然对数即 $\ln t$ 与 t 对应的累积氨挥发累积量 Y_t 进行线性回归拟合(表 3), 发现拟合度均达极显著水平 ($n = 17, p < 0.01$)。可见, 3 个处理田面氨挥发累积量随时间的变化规律均可以用 Elovich 动力学方程 $Y_t = a + b \ln t$ 来描述。

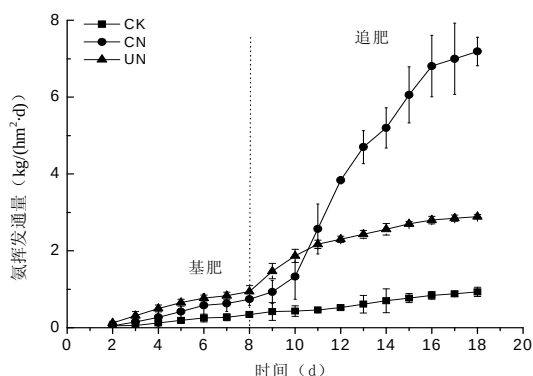


图 2 红壤稻田基-追施控释 N 肥的氨挥发累积量

Fig. 2 Ammonia-volatilization cumulant for base and dressing controlled-release urea applied in red soil paddy

表 4 红壤稻田氨挥发量 (kg/hm^2) 与差异性检验及 N 损失率 (%)

Table 4 Ammonia flux, Duncan test and N loss rates in red soil paddy

处理	基肥阶段		追肥阶段		基肥 + 追肥阶段	
	氨挥发量	N 损失率 (%)	氨挥发量	N 损失率 (%)	氨挥发总量	N 损失率 (%)
CK	0.36 B b		0.61 B b		0.97 B b	
CN	0.78 AB a	0.26	5.88 A a	5.15	6.66 A a	2.16
UN	0.97 A a	0.38	1.75 B b	1.10	2.72 B b	0.67

注: 同列数据小写字母不同表示处理间差异显著 ($p < 0.05$), 大写字母不同表示处理间差异极显著 ($p < 0.01$)。

3 讨论

氨挥发损失受多种因素综合影响, 而田面水中 $[\text{NH}_3\text{-NH}_4^+]\text{-N}$ 和 pH 是最关键的因素^[21], 且氨挥发量与其呈显著正相关关系^[22]。与尿素相比, 控释 N 肥的迟滞性、恒释性和滞后性^[8], 显著降低了田面水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度^[17, 23-24], 控制了 pH 的迅速升高, 从而降低了氨挥发量。

控释 N 肥氨挥发通量在基肥阶段和追施后的 2 天内均低于普通尿素处理, 其氨挥发峰值也相对滞后, 这可能与控释 N 肥的控释性能有关^[25-26]。而两处理氨挥发通量有急剧下降现象, 可能与稻田灌水活动有关。控释 N 肥处理在追肥后 3~8 天内的氨挥发通

表 3 氨的累积挥发量 (Y_t) 与时间 (t) 的拟合方程

Table 3 Dynamic modeling curves between cumulative ammonia-volatilization and time

处理	拟合方程	相关系数 r
CK	$Y_t = -0.470 + 0.445 \ln t$	0.8874**
CN	$Y_t = -4.375 + 3.270 \ln t$	0.7119**
UN	$Y_t = -1.453 + 1.407 \ln t$	0.9058**

2.2.2 控释 N 肥的氨挥发累积量 在基肥和追肥的整个阶段, CN 和 UN 处理氨挥发累积总量分别为 6.66 和 2.72 kg/hm^2 , 占施入 N 的 2.16% 和 0.67% (表 4), 与郑圣先等^[10]和刘德林等^[19]的研究结果 (0.67% ~ 2.2%) 相近。

基肥阶段, CN 处理与 UN 处理氨挥发累积量无显著差异, 但总体上降低了氨挥发的程度。这不但与肥料的控释性能有关^[12], 也可能与控释 N 肥对于植株生长的积极作用有关^[20]。追肥阶段, CN 处理氨挥发累积量为 UN 处理的 3.36 倍 ($p < 0.01$), N 损失率也远高于 UN 处理, 从而使氨挥发总量及肥料 N 损失率均以 CN 处理最高。该结果体现了控释 N 肥施用方式可能是氨挥发损失的决定因素。

量显著高于普通尿素处理, 可能主要归因于采用了习惯施肥方式 (撒施于水田表层)。控释 N 肥的恒释性决定了表面追施后, 田面水 $[\text{NH}_3\text{-NH}_4^+]\text{-N}$ 浓度维持期较长, 造成控释 N 肥中的 N 以 NH_3 形态的损失量增大, 说明传统的 N 肥施用方式 (基肥 + 追肥) 不宜作为控释肥的施用方式, 而控释 N 肥的一次性全量基施, 才能更有效地提高 N 素利用率, 减少环境污染^[27-28]。

参考文献:

- [1] 曹金留, 田光明, 任立涛. 江苏南部地区稻麦两熟土壤中尿素氨挥发损失. 南京农业大学学报, 2000, 23(4): 51-54
- [2] Cai GX, Peng GH, Wang XZ, Zhu JW, Zhu ZL. Ammonia

- volatilization from urea applied to acid paddy soil in southern China and its control. *Pedosphere*, 1992, 4: 345-354
- [3] Tian GM, Cao JL, Cai ZC. Ammonia volatilization from winter wheat field top-dressed with urea. *Pedosphere*, 1998, 4: 331-336
- [4] 毛小云, 廖宗文, 曾清如. 大棚内氮肥施用对 Ych 和 NH_3 浓度变化的影响. *土壤学报*, 2002, 39(增刊): 300-305
- [5] Williams EJ, Hutchinson GL, Tehsenfeld FC. NO_x and N_2O emission from soil. *Global Biogeochem Cyc*, 1992, 6: 351-388
- [6] Tremkel ME. Improving fertilizer use efficiency-controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 1997: 99-104
- [7] 刘观浦. 山东农业大学张民教授与我国包膜控释肥. *中国高校科技与产业化*, 2006(1/2): 95-96
- [8] 宋付鹏, 张民, 史衍玺. 控释氮肥的氮素释放特征及其对水稻的增长效应. *土壤学报*, 2005, 42(4): 619-627
- [9] 孙磊. 控释氮肥在水稻上的应用效果研究. *作物杂志*, 2009(2): 76-78
- [10] 郑圣先, 刘德林. 控释氮肥在淹水稻田土壤上的去向及利用率. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(2): 137-142
- [11] 孙克君, 毛小云, 卢其明, 贾爱萍, 廖宗文. 几种控释氮肥减少氨挥发的效果及影响因素研究. *应用生态学报*, 2004, 15(12): 2 347-2 350
- [12] 李方敏, 于广超, 樱井雄二. 控释肥料的环境效应研究进展. *河南农业科学*, 2008(8): 8-13
- [13] 苏成国, 尹斌, 朱兆良, 沈其荣. 稻田氮肥的氨挥发损失与稻季大气氮的湿沉降. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 1 884-1 888
- [14] 秦道珠, 李冬初, 徐明岗, 申华平, 黄平娜, 朴洪圭. 红壤稻田施用控释肥与氮素转化的关系. *中国农学通报*, 2008, 24(9): 273-276
- [15] 杜建军, 毋永龙, 田吉林, 王益权, 崔英德. 控/缓释肥料减少氨挥发和氮淋溶的效果研究. *水土保持学报*, 2007, 21(2): 49-52
- [16] 纪锐琳, 朱义年, 佟小薇, 张学洪. 竹炭包膜尿素氮释放特性的影响因素研究. *农业环境科学学报*, 2008, 27(2): 654-659
- [17] 纪雄辉, 郑圣先, 鲁艳红, 廖育林. 施用尿素和控释氮肥的双季稻田表层水氮素动态及其径流损失规律. *中国农业科学*, 2006, 39(12): 2 521-2 530
- [18] 周静, 崔键, 胡锋, 王国强, 何圆球, 马友华. 马唐牧草红壤氮肥的氨挥发、径流和淋溶损失. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1 076-1 082
- [19] 刘德林, 聂军, 肖剑. ^{15}N 标记水稻控释氮肥对提高氮素利用效率的研究. *激光生物学报*, 2002, 11(2): 87-92
- [20] 唐拴虎, 徐培智, 陈建生, 艾绍英, 张发宝, 黄旭. 一次性施用控释肥对水稻根系活力及养分吸收特性的影响. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(4): 591-596
- [21] 朱兆良. 农田氮肥的损失与对策. *土壤与环境*, 2000, 9(1): 1-6
- [22] 李菊梅, 李冬初, 徐明岗, 申华平, 秦道珠. 红壤双季稻田不同施肥下的氨挥发损失及其影响因素. *生态环境*, 2008, 17(4): 1 610-1 613
- [23] Tremkel ME. Improving Fertilizer Use Efficiency-controlled-release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 1997: 99-104
- [24] 李方敏, 樊小林, 刘芳, 汪强. 控释肥对稻田氧化亚氮排放的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2 170-2 174
- [25] 袁洋. 包膜缓控释肥料用包膜材料的探讨. *磷肥与复肥*, 2009, 24(2): 53-54
- [26] 杨越超, 耿毓清, 张民, 陈剑秋, 陈海宁. 膜特性对包膜控释肥养分控释性能的影响. *农业工程学报*, 2007, 23(11): 23-30
- [27] 游奕来, 周柏权, 李伯欣, 甘道建, 唐拴虎, 徐培智. 水稻控释肥一次性施肥技术示范应用效果. *广东农业科学*, 2008(6): 13-15
- [28] 孙永飞, 严力蛟, 梁尹明. 水稻生产中的农田生态问题与可持续发展对策. *中国农学通报*, 2005, 21(6): 358-362

Ammonia Volatilization of Controlled-release Urea Enveloped with Colophony from Paddy Field in Typical Red Soil

WANG Xia¹, CUI Jian^{2, 3}, ZHOU Jing²

(1Nanjing Institute of Environment Science, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China; 2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3 College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: The ammonia volatilizations were studied from red paddy soil under the treatments of controlled-release urea enveloped with colophony (CN) and common urea (UN). The results indicate that: 1) Ammonia volatilization flux of CN treatment decreased by 28.57% in 2 - 4 d in base N phase and by 25.00% in 1 - 2 d in dress N phase; and the peak volatile values occurred at the 5th d in base N phase and the 4th d in dressing N phase, and both were later than UN treatment. 2) Ammonia volatilization flux of CN treatment increased greatly after 2d in the dressing N phase than UN treatment. Therefore, the reasonable pattern of basal CN fertilization should be adopted to get the better environment benefit.

Key words: Controlled-release urea, Common urea, Ammonia volatilization, Red soil