

## 不同氮肥形态的氨挥发损失比较<sup>①</sup>

苏芳<sup>1</sup>, 黄彬香<sup>1</sup>, 丁新泉<sup>1</sup>, 高志岭<sup>1</sup>, 陈新平<sup>1</sup>, 张福锁<sup>1</sup>, Kogge Martin<sup>2</sup>, Römheld Volker<sup>2</sup>

(1 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2 Hohenheim大学植物营养研究所, 德国斯图加特 70593)

**摘要:** 利用从德国引进的农田土壤氨挥发风洞法测定系统, 对不同 N 肥形态的肥料进行对比实验。结果表明, 在相同施 N 量条件下, 硝酸铵、硝酸铵钙、硫硝酸铵的氨挥发损失分别比尿素减少 22.5%、3.2% 和 8.3%, 不同 N 肥的氨挥发损失差异很大。相同条件下, 尿素的氨挥发损失为 25.7%, 添加 DMPP 后氨挥发损失为 27.6%; 硫硝酸铵的氨挥发损失为 18.6%, 添加 DMPP 后为 20.6%; 添加 DMPP 对尿素和硫硝酸铵的氨挥发影响不显著。

**关键词:** 氨挥发; 风洞法; 氮肥形态

**中图分类号:** S143.1

资料表明, 目前我国 N 肥用量占全球 N 肥用量的 30% 左右<sup>[1]</sup>, 是世界上最大的 N 肥生产和消费国。但是 N 肥利用率低一直是困扰我国农业生产的一个突出问题, 当季 N 肥利用率仅为 30% 左右<sup>[2]</sup>。在化肥品种结构方面, 国产化肥仍然以单元素肥料和低浓度肥料为主, N 肥品种主要有尿素和碳酸氢铵, 另外有少量的硝酸铵、氯化铵等。大量的低浓度、低品质肥料是造成我国化肥利用率低的重要原因之一<sup>[3]</sup>。大部分 N 肥通过各种途径损失于环境之中, 其中氨挥发是 N 肥气态损失的主要途径之一<sup>[4-5]</sup>。我国作为 N 肥主要施用的尿素和碳铵的氨挥发都很高, 尤其是碳铵, 这直接导致了巨大的氨挥发损失<sup>[6-7]</sup>。发达国家施用较多的是硝酸铵钙、硝酸铵、氨溶液和硫酸铵等其他 N 肥品种<sup>[8]</sup>。研究表明, 在冬小麦施 N 80~100 kg/hm<sup>2</sup> 时, 尿素、二铵、硫酸铵和硝酸铵钙的氨挥发分别为 25%、14%、<5% 和 <2%<sup>[9]</sup>。硫酸铵、磷酸二铵、磷酸一铵、硝酸铵等在弱碱性土壤中氨挥发损失则可降低到 10% 以下, 有的甚至降至 1% 以下<sup>[10]</sup>。由此可见, 选择合理的 N 肥形态或对某些 N 肥进行改性是进一步提高 N 肥利用率的非常有效的途径。

我国关于肥料种类对氨挥发影响方面的研究主要集中在碳氨和尿素氨挥发的比较, 对于其他类型肥料的研究较少, 且采用的方法受环境因子影响较

大。目前, 风洞法是比较适合于小尺度范围的多处理、多重复对比实验的方法, 该方法在欧洲得到了广泛的应用<sup>[11-16]</sup>。本研究从德国引进风洞法氨挥发测定系统, 对不同 N 肥形态的肥料进行对比实验, 为引进国外先进成熟的 N 肥生产技术, 研制开发生产硝酸铵钙及硫硝酸铵等其他 N 肥类换代产品提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试土壤

试验布置在北京海淀区东北旺乡实验地, 该实验地位于北纬 39.5°, 东经 116.3°, 海拔高度 60 m, 地下水位 18~20 m, 该地区属于典型的暖温带大陆性季风气候区, 年平均气温为 11.5 °C, 多年平均降雨量约为 640 mm, 全年降雨集中在夏季, 年际间变化大, 试验期间的 2002 年、2003 年和 2004 年的降雨量分别为 474.8、435.5 和 469.2 mm。供试土壤为石灰性潮土, 肥力较高, 土壤理化性质见表 1。

#### 1.2 试验处理

试验于 2003—2004 年进行, 设置了 5 个不同的肥料对比实验, 具体处理如表 2 所示。本研究采用风洞法测定系统。为了便于比较分析, 风洞内风速固定为 0.8 m/s, 施肥方式采用撒施, 各处理施肥后立即灌等量的水, 每个处理设置 3 个重复。

<sup>①</sup>基金项目: 国家自然科学基金重大项目(30390084)和国家自然科学基金面上项目(40405024)资助。

作者简介: 苏芳(1970—), 女, 河南鹤壁人, 博士, 副教授, 主要从事痕量气体的地气交换研究。E-mail: sufang@cau.edu.cn

Table 1 Physical and chemical properties of experimental soil

| 剖面深度<br>(cm) | 容重 (体积质量)<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | pH  | 有机质<br>(g/kg) | 全 N<br>(g/kg) | 速效 P<br>(mg/kg) | 速效 K<br>(mg/kg) |
|--------------|-----------------------------------|-----|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 0~30         | 1.33                              | 8.0 | 21.4          | 1.18          | 34.4            | 145             |

表2 试验期间处理

Table 2 Treatments designed in experiment

| 实验时间<br>(年-月) | 肥料品种      | 对照   | 施肥方式  | 施肥量<br>(N, kg/hm <sup>2</sup> ) | 灌水量<br>(mm) | 地表覆盖 | 实验期间平均温度<br>(℃) |
|---------------|-----------|------|-------|---------------------------------|-------------|------|-----------------|
| 2004-5        | 硝酸铵       | 尿素   | 撒施后灌水 | 100                             | 20          | 裸地   | 20              |
| 2004-6        | 硝酸铵钙      | 尿素   | 撒施后灌水 | 100                             | 20          | 裸地   | 25              |
| 2003-11       | 硫硝酸铵      | 尿素   | 撒施后灌水 | 100                             | 20          | 裸地   | 6               |
| 2004-10       | DMPP+尿素   | 尿素   | 撒施后灌水 | 100                             | 20          | 裸地   | 12              |
| 2004-4        | DMPP+硫硝酸铵 | 硫硝酸铵 | 撒施后灌水 | 100                             | 20          | 裸地   | 16              |

注：DMPP为硝化抑制剂。

### 1.3 氨气的捕获与测定

本研究引进德国 Hohenheim 大学 Martin Kogge 等人设计的农田土壤氨挥发风洞法测定系统。该型风洞在 Braschkat 设计的风洞法<sup>[17]</sup>基础上进行改进,能够完全实现自动采样,我们把它叫做德国风洞。该型风洞能够自动调节风洞内外的风速条件,且风洞内外的温度、湿度微气象因子基本一致,回收率达到 90% 左右。每次施肥后连续采样 15 天,进气口和出气口所收集的气体样品通过装有 0.025 mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液的洗气瓶,收集的溶液用靛酚蓝比色法测定。最后用出气口与进气口的差值作为某一段时间、一定土壤面积的氨挥发量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硝酸铵和尿素的氨挥发损失比较

硝酸铵为高浓度铵态硝态 N 肥,曾是中国北方农村和其他部分地区施用的最主要 N 肥品种之一。硝酸铵吸湿性强,易结块、潮解,发生“出水”现象。硝酸铵在水里呈弱酸性反应。硝酸铵和尿素撒施灌水氨挥发结果如图 1 所示,实验期间的平均温度在 20℃ 左右,氨挥发主要发生在施肥后 10 天之内。在施 N 量相同的情况下,尿素氨挥发损失为 25.4%,硝酸铵氨挥发损失为 2.9%,比尿素少 22.5 个百分点,说明硝酸铵能大大降低氨挥发损失。与 IFA 的数据(尿素氨挥发:18%~26%,硝酸铵氨挥发:5%~9%)基本一致,国内赵振达<sup>[18]</sup>用 Hargroue 法测得的硝酸铵氨挥发也很低,为 4.34%。但与李生

秀<sup>[19]</sup>用 Hargroue 法测得的硝酸铵氨挥发(52.3%)差异较大。硝酸铵与易被氧化的金属粉末混在一起,经剧烈摩擦能引起爆炸。一些国家禁止使用硝酸铵纯晶体做肥料(我国由于农用硝酸铵化肥的禁用,硝酸铵化肥的生产于 2002 年 10 月停止),多数国家则将其改性,使其粒状化或添加稳定剂和惰性的物质,以降低吸湿性和增加安全性。硝酸铵的改性是改善其吸湿性和防止燃爆的重要途径,最重要的硝酸改性 N 肥是硝酸铵钙和硫硝酸铵。

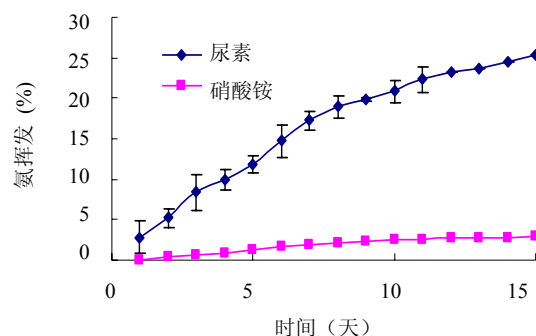


图1 尿素和硝酸铵氨挥发的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of ammonia loss from Urea and AN

### 2.2 硝酸铵钙和尿素撒施的氨挥发损失比较

硝酸铵钙是一种具有良好物化特性的优质 N 肥,由硝酸铵和碳酸钙(石灰石或白云石)混合共熔而成。它作为硝酸铵的改良品种,弥补了硝酸铵吸湿性强、易分解、结块等不足,可使多种作物增产。

硝酸铵钙和尿素撒施灌水的氨挥发结果如图 2

所示,实验期间的平均温度在 25℃ 左右,氨挥发主要发生在施肥后 10 天之内,第 10 天之后,氨挥发显著减弱。在施 N 量相同的情况下,尿素氨挥发损失为 23.0%,硝酸铵钙氨挥发损失为 19.8%,比尿素少 3.2 个百分点。Sommer 等人<sup>[9,11]</sup>的研究结果和 IFA 的数据都表明硝酸铵钙的氨挥发在 2% 左右,我们的研究结果与之相差较大,需进一步深入研究。

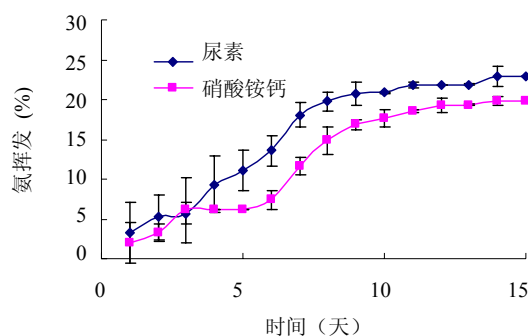


图 2 尿素和硝酸铵钙氨挥发的动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of ammonia loss from Urea and CAN

硝酸铵钙在市场开拓方面具有成本和价格的双重优势。国外尤其是西欧许多国家在 20 世纪 80 年代就已开始广泛使用,无论生产工艺技术还是农业使用效果等方面均已成熟。到 1995 年,这些国家硝酸铵中的 60% 是以硝酸铵钙的形式消费的。由于工艺技术和生产设备等原因,硝酸铵钙这一产品目前国内没有生产。建议国内有条件的厂家抓住机遇,填补硝酸铵钙这一优质 N 肥品种在国内的空白,将会取得良好的经济效益、社会效益和环境效益。

### 2.3 硫硝酸铵与尿素的氨挥发损失比较

硫硝酸铵是由硝铵和硫铵混合共熔而成或由硝硫酸混合后吸收铵,使其结晶、干燥成粒而成。硫硝酸铵大大改善了硝酸铵吸湿性的缺点,但增加了硝酸铵的生理酸性,易溶于水,肥效迅速,适宜作追肥。硫硝酸铵和尿素撒施灌水氨挥发结果如图 3 所示,实验期间的平均温度在 6℃ 左右,在施 N 量相同的情况下,尿素氨挥发损失为 25.8%,硫硝酸铵氨挥发损失为 17.5%。可见新型肥料硫硝酸铵作为追肥使用,能降低氨挥发损失,显著提高 N 肥利用率。

### 2.4 添加 DMPP 对尿素氨挥发损失的影响

DMPP (硝化抑制剂) 能抑制或延缓土壤中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  向  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的转化从而降低 N 素的淋洗和反硝化损失。添加 DMPP 对尿素的氨挥发影响结果如

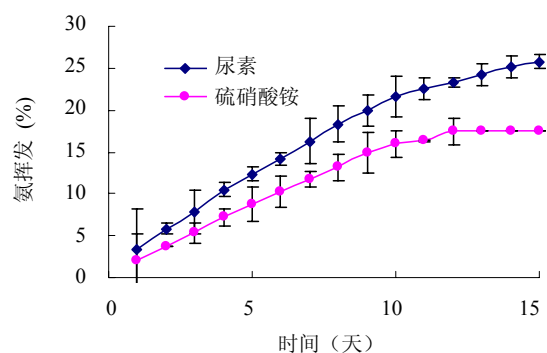


图 3 尿素和硫硝酸铵氨挥发的动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of ammonia loss from Urea and ASN

图 4 所示,实验期间的平均温度在 12℃ 左右,氨挥发发生在施肥后 11 天之内,尿素的氨挥发损失为 25.7%,加 DMPP 后为 27.6%,DMPP 对尿素的氨挥发影响不显著。从施肥到第 9 天,尿素与添加 DMPP 的尿素的氨挥发基本保持一致,只是稍微高一点,而第 9 天以后,添加 DMPP 的尿素氨挥发较单施尿素高。这是由于施肥前期为氨挥发抑制期,硝化作用很小,故此伴随大量铵的固持,土壤 pH 有增高的趋势,且这种高 pH 状态维持一段时间,此期间是氨挥发较强烈的阶段。但是 DMPP 能够在一定程度上抑制 pH 升高,有减少  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  损失的作用。从此种意义上讲 DMPP 有减少氨挥发的功能,这在一定程度上减缓了 DMPP 在施肥后期增加氨挥发的趋势。而在施肥后期,硝化作用使土壤 pH 值逐渐降低,DMPP 的抑制作用会延缓这个过程,减弱了土壤酸化的程度,维持土壤较高的 pH 值,保持比单施尿素略高的氨挥发,但施肥后期,氨挥发量很小,所以影响基本可以忽略。

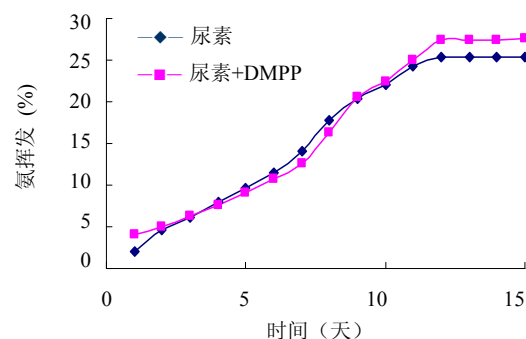


图 4 单施尿素及添加 DMPP 后氨挥发的动态变化

Fig. 4 Dynamic changes of ammonia loss from Urea and Urea+DMPP

总体来说,尿素添加 DMPP 的氨挥发比纯尿

素氨挥发大 2% 左右,添加 DMPP 对氨挥发还是有一定的影响,但是不显著。而朱兆良<sup>[20]</sup>在总结众多的研究结果基础上指出:DMPP 大多未明显地提高铵态 N 肥或尿素的利用率和降低其损失率。造成这种结果的原因可能比较多,其中包括供试 DMPP 本身的稳定性、移动性和抑制作用的强弱,以及在不同土壤、气候、作物等条件下,N 肥的氨挥发、硝化-反硝化损失率的不同。因此,今后的研究应该致力于筛选出比现有的 DMPP 效果更好的制剂。

## 2.5 添加 DMPP 对硫硝酸铵氨挥发的影响

添加 DMPP 对硫硝酸铵氨挥发的影响结果如图 5 所示,实验期间的平均温度在 16℃ 左右,氨挥发发生在施肥后 1 周以内,之后逐渐降低为零。硫硝酸铵的氨挥发损失为 18.6%,加 DMPP 后为 20.6%。可见,添加 DMPP 对硫硝酸铵的氨挥发影响也不显著。这与尿素添加 DMPP 对氨挥发的影响基本一致。本次实验未添加 DMPP 的硫硝酸铵氨挥发量(18.6%)较 2003 年 11 月的实验结果(17.5%)有一定的差异,这可能是由于温度的影响造成的。

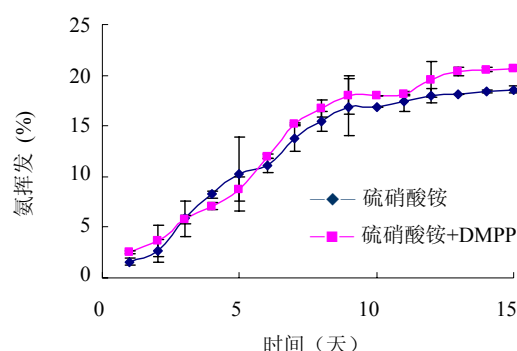


图 5 单施硫硝酸铵及添加 DMPP 后氨挥发的动态变化

Fig. 5 Dynamic changes of ammonia loss from ASN and ASN+DMPP

## 3 结论

在华北平原冬小麦-夏玉米轮作系统中,采用基肥深施、追肥后灌水等不同施肥措施,可以使氨挥发绝对量大幅度下降,但平均氨挥发损失依然超过 20%,因此需要从新的方向,如改变 N 肥形态等来解决氨挥发高的问题,本研究可得出如下结论:

(1) N 肥形态显著影响氨挥发。在与尿素的对比中,硝酸铵、硝酸铵钙和硫硝酸铵均比尿素的氨挥发要低,其中硝酸铵最低,其次是硫硝酸铵和硝酸铵钙。新型肥料可降低氨挥发损失,显著提高 N 肥利用率。

(2) 添加 DMPP 对尿素和硫硝酸铵的氨挥发没有显著影响。在相同条件下,尿素的氨挥发损失为 25.7%,添加 DMPP 后氨挥发损失为 27.6%;硫硝酸铵的氨挥发损失为 18.6%,添加 DMPP 后为 20.6%。

## 参考文献:

- [1] FAO—Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT — FAO Statistical Databases, Agriculture Data (2003). <http://apps.fao.org>
- [2] 蔡贵信. 氨挥发 // 朱兆良, 文启孝主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科技出版社, 1992: 171-185
- [3] 高祥照, 马文奇, 杜森, 张福锁, 毛达如. 我国施肥中存在问题的分析. 土壤通报, 2001, 32 (6): 258-261
- [4] Buijsman E. Ammonia emission calculation: Fiction and reality // Asman WAH, Diederer HSMA. Ammonia and Acidification: Proceedings of a Symposium of the European Association for the Science of Air Pollution (EURASAP). Bilthoven, The Netherlands: European Association for the Science of Air Pollution, 1987: 13-27
- [5] Zhu ZL, Cai GX, Simpson JR. Processes of nitrogen loss from fertilizers applied to flooded rice fields on a calcareous soil in north-central China. Fertilizer Research, 1989, 18: 101-115
- [6] 朱兆良, 张绍林, 徐银华. 种稻下氮素的气态损失与氮肥品种及施用方法的关系. 土壤学报, 1985, 22 (1), 4: 5-12
- [7] 蔡贵信, 朱兆良, 朱宗武. 水稻田中碳铵和尿素的氮素损失的研究. 土壤学报, 1985, 5: 225-256
- [8] FAO /IFA. Global estimates of gaseous emissions of NH<sub>3</sub>, NO and N<sub>2</sub>O from agricultural land. Rome, 2001, 106
- [9] Sommer SG, Jensen C. Ammonia volatilization from urea and ammoniacal fertilizers surface applied to winter wheat and grassland. Fertilizer Research, 1994, 51:85-92
- [10] Whitehead DC, Raistrick N. Ammonia volatilization from five nitrogen compounds used as fertilizers following surface application to soils. Journal of Soil Science, 1990, 41: 387-394
- [11] Sommer SG, Olesen JE, Christensen BT. Effects of temperature, wind speed and air humidity on ammonia volatilization from surface applied cattle slurry. J. Agric. Sci., 1991, 117: 91-100

- [12] Smith RJ, Watts PJ. Determination of odour emission. Rates from Cattle Feedlots: Part 2. Evaluation of two wind-tunnels of different size. *J. Agric. Engng Res.*, 1994, 58: 231-240
- [13] Weerden TJ, Moal JF, Martinez J, Pain BF, Guiziou F. Evaluation of the wind-tunnel method for measurement of ammonia volatilization from land. *J. Agric. Engng. Res.*, 1996, 64: 11-14
- [14] Misselbrook TH, Laws JA, Pain BF. Surface application and shallow injection of cattle slurry on grassland: Nitrogen losses, herbage yields and nitrogen recoveries. *Grass and Forage Science*, 1996, 51: 270-277
- [15] Weerden TJ, Jarvis SC. Ammonia emission factors for N fertilizers applied to two contrasting grassland soils. *Environmental Pollution*, 1997, 95: 205-211
- [16] Misselbrook TH, Nicholson FA, Chambers BJ, Johnson RA. Measuring ammonia emissions from land applied manure: An intercomparison of commonly used samplers and techniques. *Environmental Pollution*, 2005, 135: 389-397
- [17] Braschkat J, Mannheim T, Horlacher D, Marschner H. Measurement of ammonia emissions after liquid manure application: I. Construction of a wind-tunnel system for measurements under field conditions. *Z.Pflanz Bodenkunde*, 1993, 156: 393-396
- [18] 赵振达, 张金盛, 任顺荣, 周艺敏. 北方旱地土壤氮素平衡. *华北农学报*, 1988 (4): 67-72
- [19] 李生秀, 马社教. 石灰性土壤铵态氮的挥发损失: II. 铵态氮肥中氮的挥发与施肥方法的关系. *干旱地区农业研究*, 1993, 11 (增刊): 130-134
- [20] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策. *土壤与环境*, 2000, 9 (1): 1-6

## Ammonia Volatilization of Different Nitrogen Fertilizer Types

SU Fang<sup>1</sup>, HUANG Bin-xiang<sup>1</sup>, DING Xin-quan<sup>1</sup>, GAO Zhi-ling<sup>1</sup>, CHEN Xin-ping<sup>1</sup>,  
ZHANG Fu-suo<sup>1</sup>, KOGGE Martin<sup>2</sup>, RÖMHELD Volker<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

<sup>2</sup> Institute of Plant Nutrition, Hohenheim University, Stuttgart 70593, Germany)

**Abstract:** Ammonia volatilization of different nitrogen fertilizer types was studied by German wind-tunnel system. Results showed that there were obvious differences in ammonia volatilization among different nitrogen fertilizer types; Under the same N rate and application method, compared to urea: (1) ammonia losses decreased by 22.5%, 3.2% and 8.3% from ammonium nitrate, calcium ammonium nitrate and ammonium sulphate nitrate, respectively; (2) under DMPP-added condition, ammonia losses only increased by 1.9% from urea and 2.0% from ammonium sulphate nitrate, respectively; thus, no obvious inhibition of DMPP on ammonia loss was found from urea and ammonium sulphate nitrate.

**Key words:** Ammonia volatilization, Wind tunnel, Nitrogen form