

氨挥发与土壤水分散失关系的研究

高鹏程, 张一平

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘要] 在封闭条件下, 利用干燥剂不断吸收土壤水分, 研究氨挥发与土壤水分散失的关系。结果表明, 在有干燥剂时, 氨累积挥发量(Y)与时间(t)关系符合 Elovich 动力学方程, 与土壤水分散失呈显著正相关。对不同含水量进行比较, 散失 1 g 水分所引发的平均氨挥发量在土壤水分含量为 80 g/kg 时最高(0.060 6 mg/g), 水分散失引发氨挥发的极值时间出现在试验第 5 天。

[关键词] 土壤水分散失; 氨挥发; 干燥剂; 土壤湿度

[中图分类号] S143.1; S152.7⁺3

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2001)06-022-05

氨挥发是旱地农田氮损失的主要途径之一, 在石灰性土壤中, 氨挥发损失有时达氮肥施用量的 55%^[1]。氨挥发与土壤水分含量有关^[2,3], 许多研究表明, 土壤水分保持稳定, 无水分散失时, 氨气挥发量很小^[4,5], 仅占到施氮量的 1%^[2], 这说明氨挥发与水分的散失关系密切。然而到目前为止, 缺乏对不同土壤含水量条件下氨挥发与土壤水分散失量关系的研究。为此笔者进行了室内模拟试验, 研究土壤水分散失与氨挥发的关系, 以期旱地农田氮的充分利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

肥料为碳铵; 土壤取自陕西米脂黄土高原治理研究所试验地, 为黄绵土耕层土壤, 含有机质 5.4 g/kg, 全氮 0.172 g/kg, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 3.7 mg/kg, pH 8.1, 田间含水量 174.3 g/kg, 萎蔫系数 5.65%。

1.2 试验设计

将土样风干过 2 mm 筛, 取 5 份, 加入碳铵及水, 搅拌均匀, 使得土壤含水量分别为 120, 100, 80, 60, 40 g/kg, 氮含量达到 150 mg/kg。用底径 18 cm、上径 24 cm、高 15 cm 的塑料桶作为容器, 分别装入干重为 1.885 kg 的各种湿度土壤, 土层厚约 5 cm, 土壤容重为 1.2 g/cm³。每种湿度土壤装 6 桶, 其中 3 桶(无干燥剂处理, 作为对照)内各插入 1 个直径 1 cm, 长 10 cm 的小试管, 试管口离桶沿约 2 cm, 试管内加入 5 mL 硼酸和指示剂, 用塑料薄膜将塑料桶

密闭, 每 24 h 调换小试管 1 次; 另 3 桶(有干燥剂处理)除进行以上操作外, 每个塑料桶内放置含有 100 g 氧化镁外径为 20 cm 左右的环形槽 1 个, 每 12 h 更换氧化镁 1 次(如图 1)。氧化镁为干燥剂, 吸水后成为氢氧化镁, 中性碱, 不吸附氨气, 其作用是吸收塑料桶内土壤散失的水汽, 使得桶内土壤水分不断散失, 用过的氧化镁烘箱烘干后可重复利用。试验在培养箱内进行, 温度控制在 25℃, 用 0.02 mol/L 盐酸滴定硼酸, 测定氨气吸收量, 氨挥发量以纯氮计, 通过称重计算水分损失量。试验共进行 8 d。

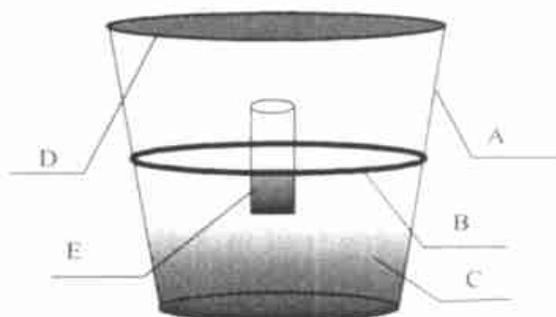


图 1 试验设计示意图

A. 塑料桶; B. 环形槽; C. 土壤; D. 塑料薄膜; E. 小试管

Fig. 1 The draft of the trial plan

A. plastic tub; B. ring structure trough; C. soil; D. plastic film; E. little test tube

2 结果与分析

2.1 氨挥发动力学特征

2.1.1 氨挥发动力学曲线 有干燥剂和无干燥剂两种处理时, 不同时间的氨挥发量(3 次重复的氨累

[收稿日期] 2001-04-23

[基金项目] 国家“九五”攻关项目(96-004-05-02)

[作者简介] 高鹏程(1969-), 男, 陕西米脂人, 助研, 在读博士, 主要从事旱地农业研究。

积挥发量平均值) 相关曲线如图 2 所示。由图 2 可知, 在整个试验期间, 氨挥发速率可分为快速和慢速两个阶段, 无干燥剂处理 1~ 6 d 为快速挥发阶段, 曲线斜率较大, 氨挥发较快; 6 d 以后为慢速挥发阶段, 曲线斜率减小, 氨挥发速率降低; 有干燥剂处理 1~ 4 d 为快速挥发阶段, 氨挥发较快; 4 d 以后为慢速挥发阶段, 氨挥发速率降低。

此外, 在土壤含水量和时间相同的情况下, 有干燥剂处理(即有水分不断散失)的氨挥发量大于无干燥剂处理, 显示土壤水分散失可加剧土壤中氨的挥发。相同时间不同含水量时, 无干燥剂处理的氨挥发量随土壤含水量的增大而增大, 而有干燥剂处理的氨挥发量随土壤含水量的变小而增大, 二者呈现明显的相反顺序。

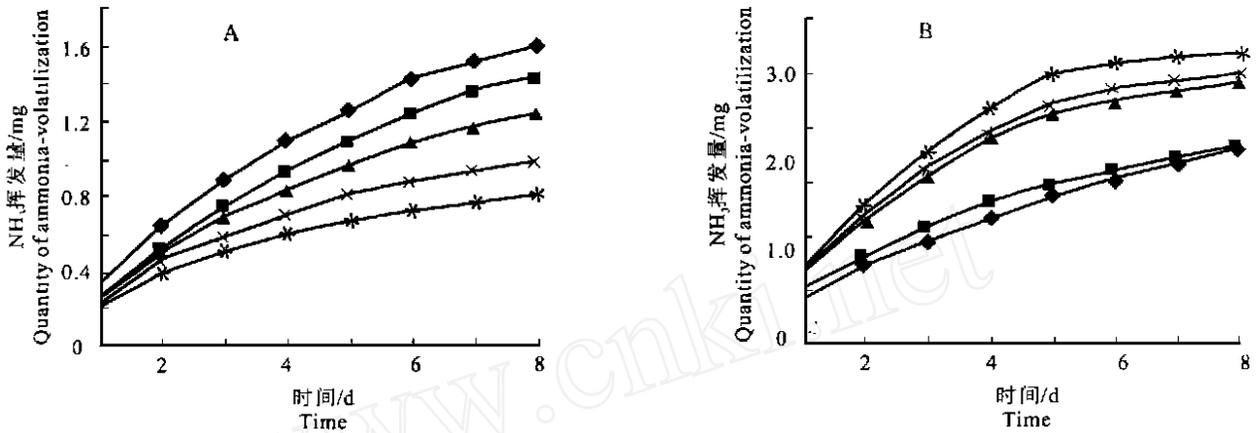


图 2 NH₃ 挥发动力学曲线

A. 无干燥剂处理; B. 有干燥剂处理

Fig. 2 The dynamics curve for volatilization of ammonia

A. No-drier treatment; B. Drier treatment

◆ 40g/kg; ■ 60g/kg; ▲ 80g/kg; × 100g/kg; * 120g/kg

2.1.2 氨挥发动力学曲线拟合 将氨挥发量(Y)与时间(t)用 Elovich 动力学方程($Y = a + b \ln t$)拟合, 结果(表 1)表明, 相关系数均达极显著水平, 说明该方程是适宜的。方程中常数 a 为第 1 天的氨挥发量, 有干燥剂处理时的 a 值明显大于无干燥剂处理的, 前者约为后者的 1.13~ 3.20 倍。常数 b 是氨

挥发量 Y 随 $\ln t$ 变化的速率, $b = dY/d \ln t$ 。有干燥剂处理时的 b 值也明显大于无干燥剂处理的, 前者约为后者的 1.10~ 3.63 倍。因此, 比较 a, b 数值进一步证实, 水分散失不仅增强了氨的挥发量, 也增强了氨的挥发速率。

表 1 不同处理时氨挥发量(Y)与时间(t)的动力学拟合曲线

Tabel 1 The dynamics modeling curve between time and volatilization quantity of ammonia with different treatments

土壤含水量/(g · kg ⁻¹) Water content of soil	无干燥剂处理 The treatment without drier		有干燥剂处理 The treatment with drier	
	拟合方程 Model equation	相关系数 Related coefficient	拟合方程 Model equation	相关系数 Related coefficient
	40	$Y = 0.214 + 0.283 \ln t$	0.996**	$Y = 0.685 + 1.026 \ln t$
60	$Y = 0.222 + 0.361 \ln t$	0.996**	$Y = 0.659 + 0.918 \ln t$	0.990**
80	$Y = 0.212 + 0.478 \ln t$	0.989**	$Y = 0.629 + 0.881 \ln t$	0.991**
100	$Y = 0.198 + 0.571 \ln t$	0.981**	$Y = 0.437 + 0.649 \ln t$	0.989**
120	$Y = 0.274 + 0.619 \ln t$	0.987**	$Y = 0.310 + 0.678 \ln t$	0.977**

2.2 土壤水分散失动力学特征

2.2.1 土壤水分散失动力学曲线 无干燥剂处理时, 在整个试验期间土壤水分基本上保持恒定, 所以

研究土壤水分散失时, 只考虑有干燥剂处理。由图 3 可知, 1~ 4 d 曲线斜率较大, 说明 1~ 4 d 土壤水分散失速率较快, 4 d 以后土壤水分散失速率下降。

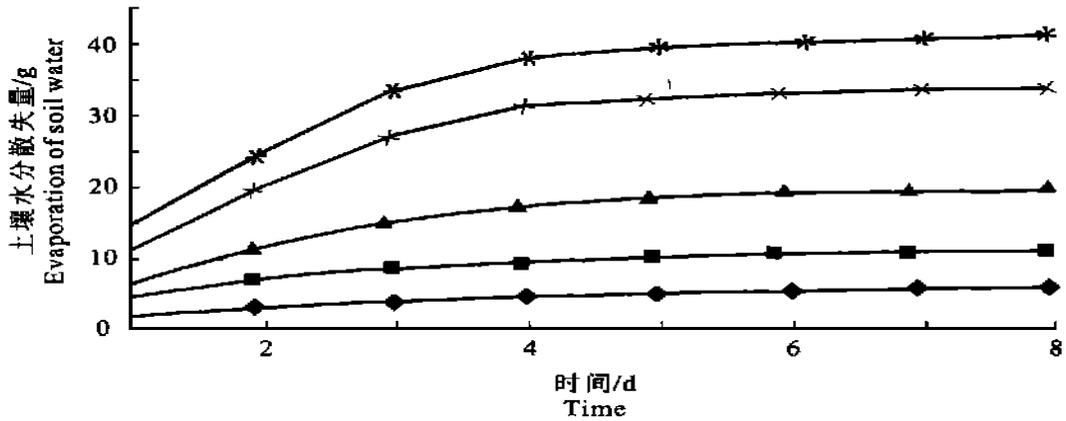


图 3 土壤水分散失动力学曲线

Fig. 3 The dynamics curve for evaporation of soil water

◆ 40g/kg; ■ 60g/kg; ▲ 80g/kg; × 100g/kg; * 120g/kg

2.2.2 土壤水分散失动力学曲线拟合 将有干燥剂处理的土壤水分散失量(W)与时间(t)用 Elvich 动力学方程($W = \alpha + \beta \ln t$)拟合(表 2), 表 2 中相关系数均达极显著水平, 说明该方程是适宜的。方程中

常数 α 为第 1 天土壤水分散失量。常数 β 是氨挥发量 W 随 $\ln t$ 变化的速率, $\beta = dW / d \ln t$, α, β 均随土壤湿度增加而增大, 增幅逐渐降低。

表 2 有干燥剂处理土壤水分散失量(W)与时间(t)动力学拟合曲线

Table 2 The dynamics modeling curve between time and evaporation quantity of soil water with drier

土壤含水量/(g · kg ⁻¹) Water content of soil	拟合方程 Model equation	相关系数 Related coefficient	土壤含水量/(g · kg ⁻¹) Water content of soil	拟合方程 Model equation	相关系数 Related coefficient
40	$W = 2.163 + 1.650 \ln t$	0.989**	100	$W = 13.019 + 11.047 \ln t$	0.944**
60	$W = 5.445 + 2.644 \ln t$	0.977**	120	$W = 16.662 + 12.966 \ln t$	0.950**
80	$W = 7.535 + 6.216 \ln t$	0.958**			

2.3 氨挥发量与土壤水分散失量的关系

为了确定土壤水分散失量与它所引起的氨挥发量之间的数量关系, 用试验第 8 天有干燥剂处理的水分散失总量和第 8 天有干燥剂处理的氨挥发总

量, 减去无干燥剂处理氨挥发总量, 即可得到水分散失引起的氨挥发总量, 进而可求得不同含水量的土壤散失 1 g 水分时所引起的氨挥发量(表 3)。

表 3 不同土壤湿度下水分散失量与氨挥发量

Table 3 The evaporation quantity of soil water and the volatilization quantity of ammonia in soils with different water content

土壤含水量/(g · kg ⁻¹) Water content of soil	水分散失量/g Evaporation quantity of soil water	氨挥发总量/mg Volatilization quantity of ammonia	氨挥发率/(mg · g ⁻¹) Volatilization efficiency of ammonia
40	5.4	0.212	0.0393
60	10.5	0.389	0.0370
80	19.2	1.164	0.0606
100	33.5	1.501	0.0448
120	40.9	1.870	0.0457

由表 3 可见, 不同土壤含水量相比, 散失 1 g 水分所引起的平均氨挥发量在土壤水分含量较高时(100, 120 g/kg)和较低时(40, 60 g/kg)相对较少, 而含水量为 80 g/kg 时则相对较高。

2.4 氨挥发量与土壤含水量的关系

2.4.1 氨挥发量与土壤水分含量关系图 两种处理(有干燥剂、无干燥剂)下不同时间(1~8 d)时氨挥发量与土壤含水量的关系如图 4 所示。

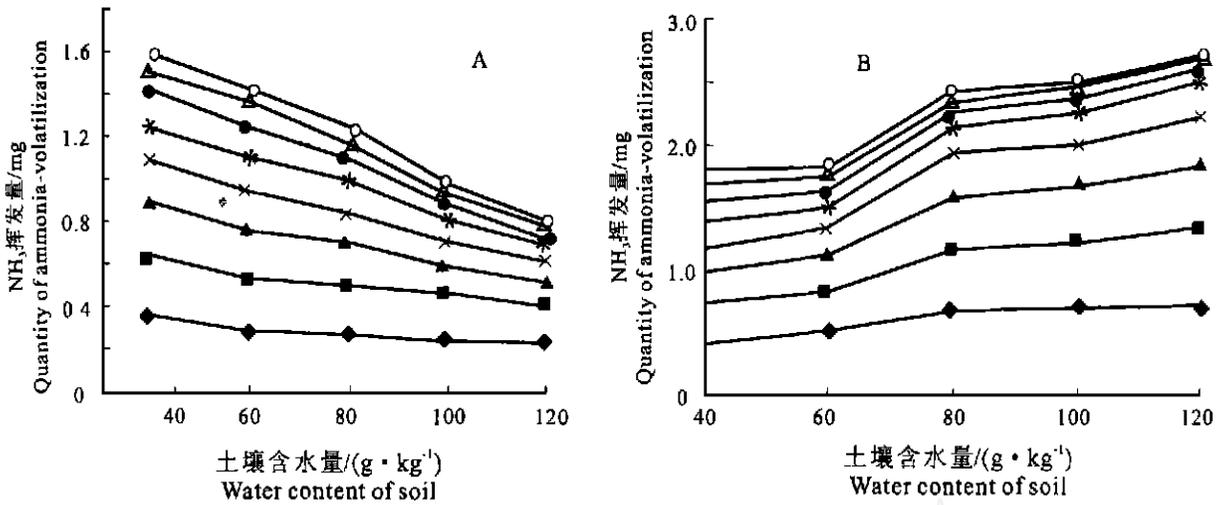


图 4 氨挥发量与土壤水分含量的关系

A. 无干燥剂处理; B. 有干燥剂处理

Fig. 4 Relation of volatilization quantity of ammonia to water content of soil

A. No-drier treatment; B. Drier treatment

◆ .1d; ■ .2d; ▲ .3d; × .4d; * .5d; ● .6d; ▲ .7d; ○ .8d;

由图 4 可见, 与前述相同, 同样时间时无干燥剂处理的氨挥发量随土壤湿度的增大而降低; 有干燥剂处理的氨挥发量随土壤湿度的增大而增加。作为对照的无干燥剂处理, 除装置密封初期, 由于土壤中水汽须与桶内空气中水汽平衡而对土壤水分略有影响外, 几乎无土壤水分散失, 因此氨挥发的机制主要取决于土-气界面氨的浓度梯度所导致的氨扩散作用。当土壤含水量高时, 土壤水中溶解了较多氨, 土-气界面氨的浓度梯度减小, 氨扩散作用减弱, 氨挥发量降低; 相反, 土壤含水量低时, 土壤中含有较多的氨, 氨扩散作用增强, 氨挥发量增大。而有干燥剂处理, 氨的挥发显然是氨浓度梯度的扩散和土壤水汽散失对氨的携带两种机制共同作用所致。与无干燥剂处理相比, 有干燥剂处理时氨挥发量随土壤湿度增大而增加的相反结果说明, 随土壤湿度增大, 在氨挥发量中, 土壤水汽携带作用所致氨挥发量所占比重增大, 相应扩散作用引起的氨挥发量所占比重减小。

表 4 列出了试验第 8 天不同含水量时无干燥剂处理的氨挥发量 (N) 和有干燥剂处理的氨挥发量 (M) 的比值。由表 4 可见, 土壤含水量为 40 g/kg 时 N/M 为 88%, 而含水量为 120 g/kg 时 N/M 仅为 30%, 即含水量为 120 g/kg 时 70% 的氨挥发量是水分散失的携带作用所致。值得注意的是, 含水量为 80 g/kg 时, 引起氨挥发的两种作用机制的强度相近, 即两种机制所导致的氨挥发量各占 50% 左右。因此, 土壤水分较多时 (100, 120 g/kg), 由于水分散失的携带作用导致氨的挥发起主导作用, 而其水分散失量又较大, 因而散失 1 g 水分引起的氨挥发量相对较小; 相反土壤水分较少时 (40, 60 g/kg), 由于水分散失携带作用导致氨挥发所占比重很小, 故同样散失 1 g 水分所引起的氨挥发量亦较低; 而土壤含水量为 80 g/kg 时, 水分散失导致氨挥发的作用已较强, 且土壤水分散失量仍较小 (19.2 g), 仅占含水量为 120 g/kg 时水分散失量的 46.9% (表 3), 故其散失 1 g 水所引起的氨挥发量最大。

表 4 试验 8 d 时有无干燥剂处理的氨挥发量的比值

Tabel 4 The ratio of volatilization quantity of ammonia between the treatments without and with drier in 8 days

土壤含水量/(g · kg ⁻¹) Water content of soil	N/M	土壤含水量/(g · kg ⁻¹) Water content of soil	N/M
40	0.88	100	0.40
60	0.79	120	0.30
80	0.52		

此外, 图 4 还显示, 曲线间的距离随时间增加而减小, 亦证实随时间增加, 氨挥发速率逐渐降低, 由

快速挥发阶段逐渐进入慢速挥发阶段。
2.4.2 氨挥发量(Y)与土壤水分含量(w)的拟合方程式 两种处理同一时间的氨挥发量(Y)与土壤水

分含量(w)按 $Y = \alpha + \beta w$ 线性方程的拟合结果见表 5。

表 5 氨挥发量(Y)与土壤水分(w)的拟合方程式

Tabel 5 The equation model between volatilization quantity of ammonia and water content of soil

时间/d Time	无干燥剂处理 The treatment without drier		有干燥剂处理 The treatment with drier	
	拟合方程 Equation model	相关系数 Related coefficient	拟合方程 Equation model	相关系数 Related coefficient
	1	$Y = 0.387 - 1.405w$	0.898*	$Y = 0.304 + 3.595w$
2	$Y = 0.742 - 2.900w$	0.937*	$Y = 0.424 + 7.730w$	0.923*
3	$Y = 1.061 - 4.635w$	0.991**	$Y = 0.527 + 11.075w$	0.930*
4	$Y = 1.323 - 6.065w$	0.994**	$Y = 0.640 + 13.500w$	0.927*
5	$Y = 1.533 - 7.135w$	0.998**	$Y = 0.752 + 14.775w$	0.933*
6	$Y = 1.775 - 8.830w$	0.999**	$Y = 0.941 + 14.055w$	0.925*
7	$Y = 1.910 - 9.525w$	0.996**	$Y = 1.104 + 13.205w$	0.923*
8	$Y = 2.011 - 10.070w$	0.995**	$Y = 1.267 + 12.070w$	0.900*

由表 5 可见,除第 1 天有干燥剂处理的拟合方程式未达显著相关外,其余均达显著或极显著相关。其中无干燥剂处理的 β 值均为负值,表明在无水分散失情况下,随土壤湿度增加,氨挥发量降低,而有干燥剂处理时 β 值均为正值,表明有水分散失情况下,随土壤湿度增加,氨挥发量增大,与前述结论相符。

拟合方程式中 $\beta = dY/dw$, 表示单位土壤湿度

变化导致的氨挥发变化量。有干燥剂处理时, β 值随时间变化呈抛物线状,以第 5 天 β 值最大,显示第 5 天是单位水分含量变化导致氨挥发最强烈的时间,可称为水分散失引发氨挥发的极值时间,极值时间的出现可能与施入土壤中的碳铵转化为氨的速率有关,达极值时间时,碳铵转化为氨的速率最大,因而单位土壤水分散失所引发的氨挥发量最大。极值时间的确定对选择控制氨挥发的时机具有重要意义。

[参考文献]

- [1] Al-Kanani T, Mackenzie A F, Blenkhorn H. Soil water and ammonia volatilization relationship with surface-applied nitrogen fertilizer solution[J]. Soil Sci Soc Am J, 1991, 55: 1761- 1766
- [2] Fenn L B, Hossler L R. Ammonia volatilization from ammonium forming fertilizers[J]. Adv Soil Sci, 1985, 1: 123- 169
- [3] Ferguson R B, Kissel D E. Effects of soil drying on ammonia volatilization from surface-applied urea[J]. Soil Sci Soc Am J, 1986, 50: 485 - 490
- [4] 黄建英, 张卫. 不同土壤施氮肥氨的挥发试验初报[J]. 土壤肥料, 1990, (1): 26- 28
- [5] 同延安, 张文孝, 韩稳社, 等. 氮肥在粗腐殖质土壤中的转化[J]. 土壤肥料, 1992, (2): 4- 7

Research on relationship between volatilization of ammonia and evaporation of soil water

GAO Peng-cheng, ZHANG Yi-ping

(College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The relationship between volatilization of ammonia and evaporation of soil water was studied by using desiccant to absorb water in soil in the text. The results showed that the quantity of ammonia was positively correlated with soil water content when there was desiccant in tub, and the relationship between the total quantity of ammonia-volatilizing (Y) and the time (t) could be expressed as Elovich equation ($Y = a + b \ln t$). The average quantity of ammonia-volatilizing by evaporation of 1g soil water was the largest when the water content was 80 g/kg. The maximum rate of ammonia-volatilizing was in the fifth day.

Key words: evaporation of soil water; volatilization of ammonia; drier; water content of soil