

水田氨挥发的测定方法*

J. R. Freney, A. C. F. Trevitt**

(Division of Plant Industry, CSIRO)

朱兆良 蔡贵信

(中国科学院南京土壤研究所)

J. R. Simpson

(Division of Plant Industry, CSIRO)

摘 要

在中国丹阳练湖农场进行的田间试验中,研究和比较了稀疏幼小稻苗生长下测定水稻田氨挥发的三种简化方法。其中最准确可靠的方法是分别测定水面以上0.8米处的风速和氨的浓度,以计得氨挥发量。用专门设计的氨采样器测定某一固定高度处氨的水平迁移量的方法,准确性略差一些,但由于它不需要电源、抽气泵、流量计和风速计,因而适于在偏僻地区应用。

水稻田中,氮肥的效果因土壤条件、施用方法和氮肥种类的不同而有很大的差异^[1],但对其效果低且差异很大的原因则并不很清楚。以往大多认为,反硝化作用是稻田中撒施氮肥时氮素损失的主要途径。但是,在有的报告中,氨的挥发损失可达施入尿素氮的47%^[7]。因此,亚洲的稻田中,氨的挥发可能是氮肥效果低的主要原因之一。

但是,在亚洲采用令人满意的方法,进行氨挥发的田间观测,迄今只有3个点,计菲律宾两个,中国1个^[2,8]。因此,需要进行更广泛的观测。由于环境条件对氨挥发的影响很大^[9],这种观测必须在不受干扰的自然环境条件下进行,例如采用Denmead所阐述的微气象学法^[3]。但是,这一方法化费多,工作量大,难以广泛应用。Freney等^[10]和Leuning等^[11]修改了这一方法,可供广泛采用,但尚未在不同环境条件下进行检验。

在中国,我们对三种简化的微气象学法与已建立起来的微气象学法进行了比较研究,现将结果报告如下。

一、试 验 方 法

(一) 试验地点和处理

试验在中国江苏省丹阳县练湖农场进行。供试土壤和试验设计见参考文献[2]。

* 本工作得到澳大利亚国际农业研究中心的部分资助和中国江苏省丹阳练湖农场的大力支持;参加本工作的还有练湖农场的朱宗武、唐宝云、孙育东和倪梅霞,中国科学院南京土壤研究所的徐银华、张绍林,作者在此一并致谢。

** 现今的所在单位: Forestry Department, Australian National University.

在两个相距 80 米、半径为 25 米的圆形区中,进行了氮挥发的研究。圆形区由高 0.15 米的土壤围成。6 月 20 日上午 7:45—9:15,两个区分别表施碳铵和尿素,用量皆为 90 公斤 N/公顷。施后与数厘米表土耙混。随即插秧,水稻品种为汕优 3 号,株行距为 0.15 米×0.27 米,苗高 20—35 厘米。圆形区内外水层深度相同,平均为 4 厘米。圆形区外围的稻田栽插相同的秧苗,但在试验观测期间不施氮肥。

(二) 氮挥发的测定

1. 参比法: 本法要求在圆形区外的大田中水稻的生长与圆形区内的相似,但近期内又未曾施用过氮肥。当在圆形区内施入氮肥后,氮向上扩散并随风横向向下风口移动。采用圆形区的好处是,区中心处大气中的氮浓度剖面不受风向的影响。因而,根据质量平衡原理,通过圆形区中心处一定高度内氮的水平迁移总量(风速与氮浓度之积),就等于上风处宽为一个单位,长为圆形区半径的长条状的地面上氮的垂直通量^[3,11]。

以数学式表示,自圆形区逸出的氮的垂直通量密度 $F_{ref}(\mu\text{gN}/\text{m}^2 \cdot \text{sec})$ 为

$$F_{ref} = 1/X \int_0^X (\bar{u}\bar{\rho} - \bar{u}\bar{\rho}_b) dx \quad (1)$$

式中 u 为瞬时风速 (m/sec); ρ 为施肥区上大气中 NH_3 的瞬时浓度 ($\mu\text{gN}/\text{m}^3$); ρ_b 为空气中 NH_3 浓度的瞬时背景值,即施肥区上风处空气中 NH_3 的瞬时浓度 ($\mu\text{gN}/\text{m}^3$)。 $u\rho$ 为在任一高度处 NH_3 的水平通量密度 ($\mu\text{gN}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$); x 为田面水以上的高度 (m)。字母上的横线代表不同时间的平均值。 u 、 ρ 的瞬时值可以写作时间平均值 \bar{u} 、 $\bar{\rho}$ 与平均值的波动值 u' 、 ρ' 之和(即 $u = \bar{u} + u'$, $\rho = \bar{\rho} + \rho'$)。则

$$(\bar{u}\bar{\rho} - \bar{u}\bar{\rho}_b) = (\bar{u}\bar{\rho} - \bar{u}\bar{\rho}_b) + (\bar{u}'\bar{\rho}' - \bar{u}'\bar{\rho}'_b) \quad (2)$$

所以

$$F_{ref} = 1/X \int_0^X (\bar{u}\bar{\rho} - \bar{u}\bar{\rho}_b) dx + 1/X \int_0^X (\bar{u}'\bar{\rho}' - \bar{u}'\bar{\rho}'_b) dx \quad (3)$$

式(3)右边第 1 项是平均水平对流通量密度,第 2 项是水平湍流扩散的通量密度。在这一类试验中,扩散项一般比对流项小得多(前者不到后者的 10%^[11]),因而可以忽略不计,则

$$F_{ref} \approx 1/X \int_0^X (\bar{u}\bar{\rho} - \bar{u}\bar{\rho}_b) dx \quad (4)$$

为了用式(4)计算出在田间条件下 NH_3 的逸散速率,必须在几个高度处测定风速和氮浓度。其法是在圆形区中心设一竖杆,在竖杆的 8 个不同高度处设置采样臂,臂与氨吸收管相联,管内充满含 1% H_2PO_4 的玻璃珠和玻璃棉,吸收管则联接于抽气泵上,抽气速率为 10 升/分,每 2 小时更换一次吸收管^[4,11]。本试验所用的 8 个高度是(水面以上) 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.8, 2.6 和 3.6 米。用蒸馏水洗出吸收管中的铵,以氨气敏电极和毫伏计测定。同时,用相同的方法在施肥区上风处,测定 4 个高度处空气中氮的背景值。在靠近圆形区中心的地方,在采样臂的相同高度处设置风杯风速计,以测定各次采样期间的平均风速。式(4)的积分用梯形法进行。

这一方法是评价以下几种简化法时的参比法。

2. 单一高度法: Wilson 等^[11,14]和 Denmead^[11]指出,在一定的风程和地面粗糙度下,在有氮逸出的施肥区上的某一高度(z_1)处,氮的水平通量密度与垂直通量密度成正比,而与大气的湍流状态无关。即:

$$F_{abbrev} = k_1(\bar{u}_{z_1}\bar{\rho}_{z_1} - \bar{u}_{z_1}\bar{\rho}_b) \quad (5)$$

其中 F_{abbrev} 是氮的垂直通量密度, k_1 为常数, \bar{u}_{z_1} 是 z_1 高度处的平均风速, $\bar{\rho}_{z_1}$ 是 z_1 高度处的平均浓度, $\bar{\rho}_b$ 是氮浓度的背景值。在澳大利亚 Griffith 的水稻田上进行的试验中,圆形区的半径为 25 米,水稻的生育期与本试验基本相同,得出的 z_1 是水面以上 0.8 米^[10]。Wilson 等^[14]在一小圆形区上进行的研究中, z_1 的理论值为 1.08 米,而经验值只有 0.75 米,但是,根据 z_1 的理论值推算出的氮总损失量与实测值只相差 8%。看来,正如 Denmead^[11]所指出的,此值可以有一定的选择范围。

单一高度法只需要测定一个高度处的风速和氨浓度,因此,比上述的参比法所需的抽气泵、流量计、吸收管和风速计少,又省力。但与参比法一样,仍需要电力和设置圆形区。

3. 迎风采样器法:最近研制了一种氨采样器,用来测定氨的平均水平总通量密度(即 $\overline{u\rho}$)。Leuning 等^[11]指出 $\overline{u\rho}$ 与 $\overline{w\rho}$ 呈密切的线性关系。因而,采样器可以用来代替参比法中的吸收管和风速计。应当将采样器按装在 #1 高度处,这与上述的单一高度法相同。

$$F_{\text{ampler}} = k_1[(\overline{u\rho})_{z_1} - (\overline{u\rho})_0] \quad (6)$$

F_{ampler} 是氨的垂直通量密度, k_1 是常数(其值 $\approx k_1/0.85^{[12]}$)。 $(\overline{u\rho})_{z_1}$ 和 $(\overline{u\rho})_0$ 分别是圆形施肥区中心和圆形区外上风处的对照(背景值)区的测定值(都是 #1 高度处)。因此

$$\overline{u\rho} = M/At \quad (7)$$

M 是采样器在 t 时间(秒)内收集到的氨量(gN), A 是通过风洞校正试验测得的采样器的有效截面积(m^2)^[11]。

这种氨采样器不需要电源和抽气泵,不需要分别测定风速和流速,但仍需要设置圆形施肥区。在本试验中,采样器装置在圆形施肥区的中心和上风处对照区的两个采样杆上高 0.8 米处(水面以上)。

4. 气体动力学—水化学法: 溶液中氨挥发的驱动力是与液相平衡的气态氨浓度与周围大气中的氨浓度之差^[6,11,13]。而风速愈大,则水面上氨移走得就愈快,淹水系统的氨挥发速率也就愈高。将这些影响氨挥发速率的因子综合起来,即得式(8)^[11,13]

$$F_{\text{bulk}} = k_2 \overline{w}_{z_2} (\overline{\rho}_0 - \overline{\rho}_{z_2}) \quad (8)$$

F_{bulk} 是从水面逸出的氨的垂直通量密度, k_2 是一常数, \overline{w}_{z_2} 是参比高度 #2 处的风速。参照 Freney 等^[10]的结果,本试验中 #2 定为 1.2 米。 $\overline{\rho}_0$ 是与液相平衡的氨的平均浓度, $\overline{\rho}_{z_2}$ 是在高度 #2 处每两个小时测定一次得出的大气中氨的平均浓度^[6,13]。与液相平衡的气相氨的浓度(ρ_0 在式 10 中为 gN/m^3 , 在式 8 中为 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$), 则由水中铵态和氨态氮的浓度,以及水的绝对温度(T , °K) 和 pH 计得,其关系式为^[11,13]:

$$[\text{NH}_3]_{\text{soln}} = \frac{[\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3]_{\text{soln}}}{1 + 10^{(0.00018 + 0.0739 \cdot \text{pH} - 1477.7/T)}} \quad (9)$$

$$\rho_0 = [\text{NH}_3]_{\text{soln}} 10^{(1.45937 - 1477.7/T)} \quad (10)$$

每两小时测一次水温,并采一次水样,在每个处理区中采 10 个点。用玻璃—甘汞复合电极和氨气敏电极分别测定水的 pH 和铵态和氨态氮总量(即 $[\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3]_{\text{soln}}$, gN/m^3)。

为了用上述三种简化法计算氨的垂直通量密度,需要确定 k_1 , k_2 , k_3 的数值。按理说,这些常数的数值,在不同环境条件下应当是不变的,但是,这一点目前还不能肯定。因此,下面我们试用了以前在澳大利亚进行的试验中得到的数值,以进行不同简化法氨逸出垂直通量的计算。由于在本试验中布置了参比法测定氨的实际垂直通量密度,因此,也用碳铵区的数据独立地计算了这些常数的数值,并应用到尿素区中,以进行检验。

二、试验结果

在练湖农场进行的观测中,水稻植株以上的氨浓度剖面、风速剖面和水平迁移量剖面的形状如图 1,无论是在强风下或微风下都是正常的。风速自下而上呈对数增大,而氨的浓度则在靠近水面处达最大值。水稻植株以上的氨水平迁移量是该体系的氨水平迁移总量的主要部分。

施肥后 8 天内,碳铵区和尿素区氨的垂直通量密度的变化如图 2。能够用来比较 4 种方法的观测数据的变幅是:尿素区在 $0.3-6.4 \mu\text{gN}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ 之间,碳铵区在 $0.2-27.4 \mu\text{gN}/$

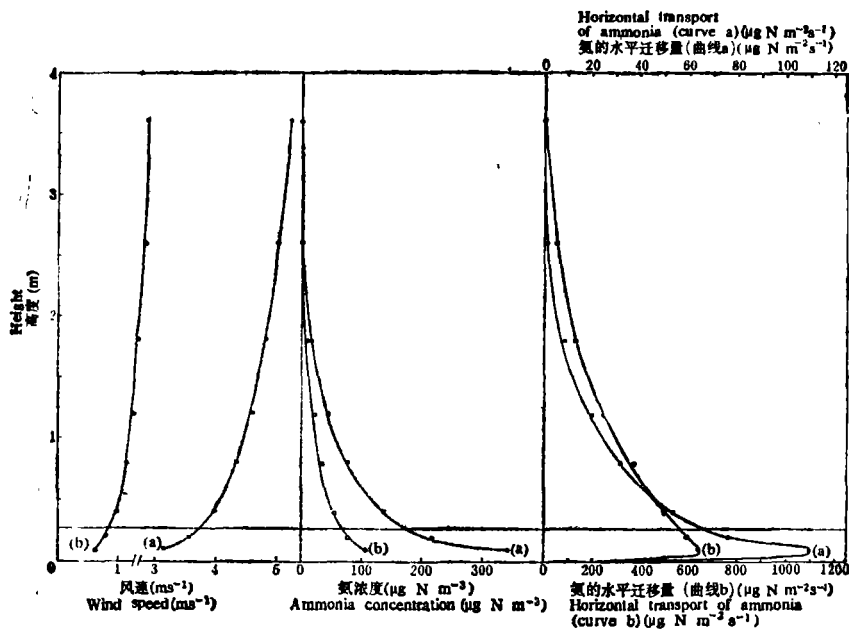


图 1 碳铵区上的风速剖面、大气氨浓度剖面 and 氨的迁移量

(a) 强风时, (b) 弱风时

Fig. 1 Profiles of wind speed, atmospheric ammonia concentration, and ammonia mass transport on ammonium bicarbonate treated area

(a) Strong wind, (b) Light wind

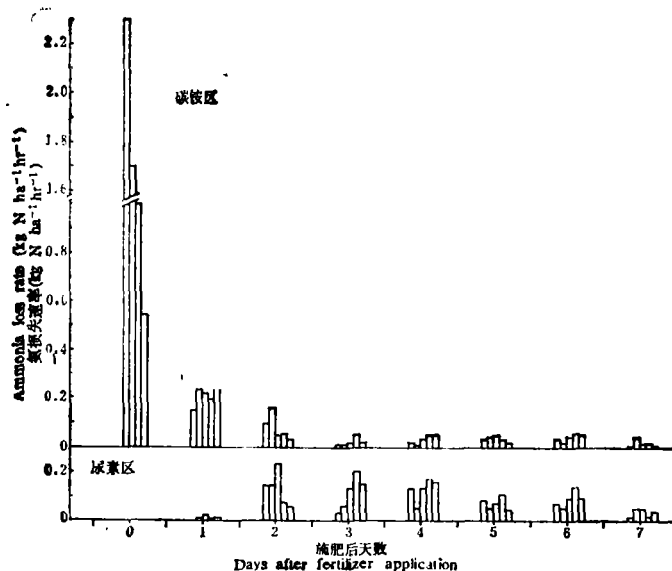


图 2 水稻插秧时施用碳铵和尿素后氨的挥发

Fig. 2 Rate of ammonia loss from flooded rice fields after application of ammonium bicarbonate and urea fertilizers at transplanting

$m^2 \cdot sec$ 之间。施用碳铵后,水的碱度和铵的含量立即增高,氨的逸出速率很高,而后即迅速降至比较低的水平。尿素区的氨逸出速率一直比较低。

在 8 天的观测中,白天的氨挥发累计量见表 1 (以占施入氮量的百分率表示)。在计算尿素区的氨挥发量时,式 (5), (6), (8) 中的常数 (k_1, k_2, k_3) 的数值有两组。由参比法测得的碳铵区和尿素区的氨挥发量分别占施入氮量的 16.9% 和 7.2%。当用 Freney 等^[10] 和 Leuning 等^[11] (及一未刊资料) 在澳大利亚试验中得到的 k_1 和 k_2 的数值 (表 2) 代入式 (5) 和 (6) 进行计算时,单一高度法和迎风采样器法得出的结果都略高于参比法。但是,当用 Freney 等^[10] 的 k_3 值进行计算时,用气体动力学-水化学法估算出的结果则偏低。

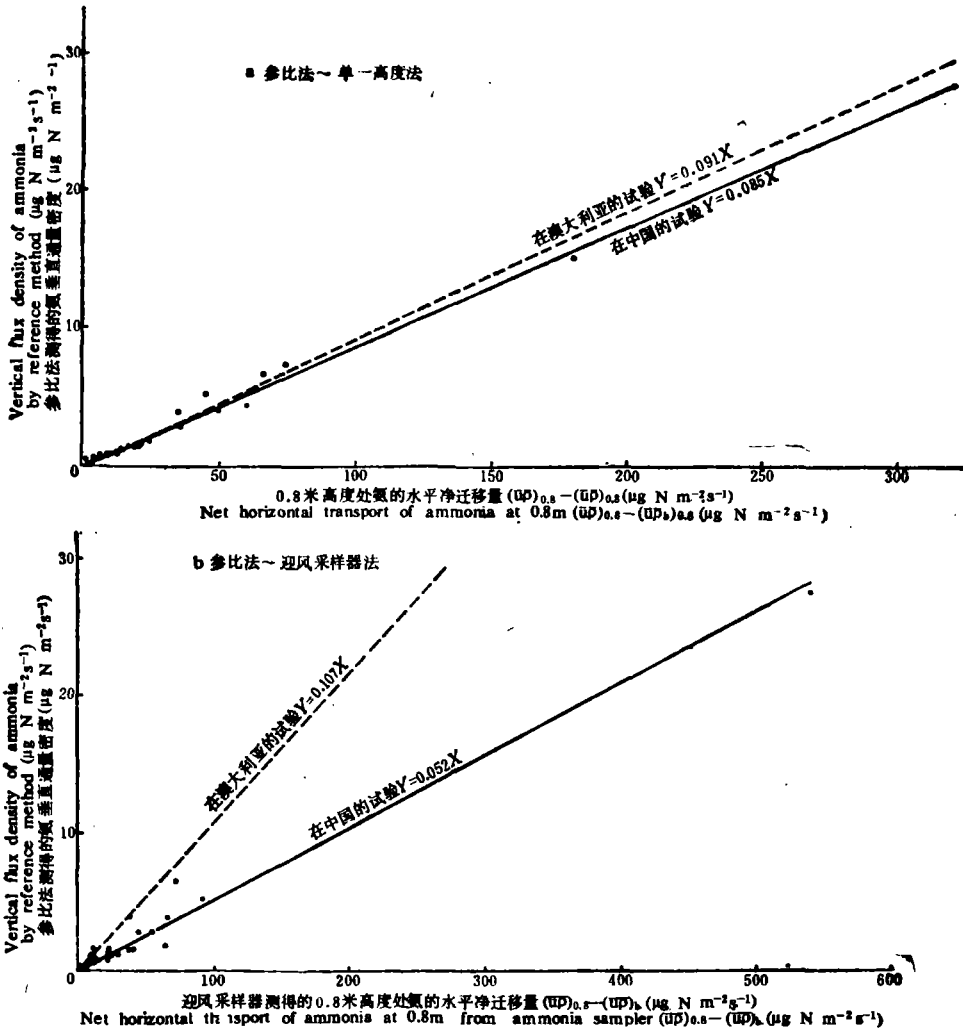


图 3 参比法测得的氨垂直通量密度与单一高度法 (a) 或迎风采样器法 (b) 测得的 0.8 米高度处氨的水平通量密度的关系

Fig. 3 Relationship between vertical flux density of ammonia determined by the reference method and horizontal flux density at 0.8m measured by the abbreviated method (a), or by the ammonia sampler method (b)

表 1 不同方法测得的氨损失量

Table 1 Ammonia loss as calculated by different methods

回归系数 k 的来源* Source of regression coefficient (k)	测定方法 Measurement method	白天的氨损失(占施入N的%) Daytime loss of NH ₃ (% of applied N)	
		NH ₄ HCO ₃	(NH ₂) ₂ CO
	参比法	16.9	7.2
以前在澳大利亚进行的 试验	单一高度法	17.5	8.0
	迎风采样器法	19.5	8.6
	气体动力学-水化学法	8.3	3.1
本试验的 NH ₄ HCO ₃ 区	单一高度法	—	7.5
	迎风采样器法	—	4.2
	气体动力学-水化学法	—	3.6

* k 值见表 2。

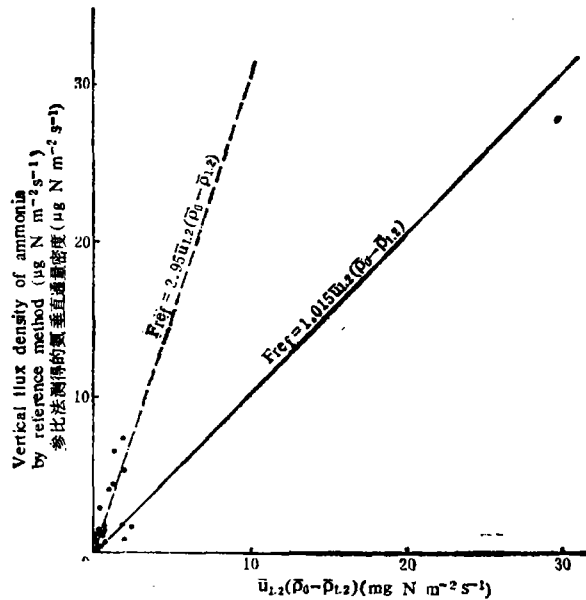
图 4 参比法测得的氨垂直通量密度与 $\bar{u}_{1.2}(\bar{\rho}_0 - \bar{\rho}_{1.2})$ 的关系

Fig. 4 Relationship between vertical flux density of ammonia determined by the reference method and the product of wind speed at 1.2m and the difference between the equilibrium ammonia gas concentration and the ammonia concentration at 1.2m height

由本次试验碳铵区得出的 k_1 , k_2 和 k_3 值列于表 2。用这些常数代入式 (5), (6) 和 (8) 中计得的尿素区的氨挥发总量示于表 1。此时,单一高度法得出的结果与参比法非常接近,而用其他两种简化法得出的结果则都偏低。

碳铵区中单一高度法的 $(\bar{u}\bar{\rho})_{0.8} - (\bar{u}\bar{\rho}_0)_{0.8}$, 迎风采样器法的 $(\bar{u}\bar{\rho})_{0.8} - (u\rho)_0$, 以及气体动力学-水化学法的 $\bar{u}_{1.2}(\bar{\rho}_0 - \bar{\rho}_{1.2})$ 与参比法测得的氨垂直通量密度之间的关系,分别示于图 3 和图 4。表 2 所列的 k 值是用这些数据,根据既通过零点,拟合性又最好的回归直线求出的。表 2 还列出了参比法测定值与简化法测定值之间的相关系数和观测值的数

表 2 参比法与三种简化法测得的氨垂直通量密度间的相关系数和回归系数

Table 2 Regression coefficients (slope; k) and linear correlation coefficients for the relationships between vertical flux density of ammonia determined by the reference method and that determined by simplified methods.

简化法 Simplified method	回归系数 k 值 Value of k		相关系数 (r)	观测数 (n)
	以前澳大利亚试验 中的数值	本试验 NH_4HCO_3 区的数值		
单一高度法	0.091	0.085	0.997	34
迎风采样器法	0.107	0.052	0.984	26
气体动力学-水化学法	0.885	1.015	0.932	33

目。

三、讨 论

图 2 表明,碳铵区的氨垂直通量密度,除初期较高外,其余都很低,这与田面水的 pH 较低有关 ($\text{pH} < 8$)^[2]。试验期间多多云天气(处于本地区的梅雨季节中),田面水中藻类的生长受到抑制,可能是造成田面水 pH 较低的原因。

由于种种原因,各种简化法的测定值与参比法测得的垂直通量密度之间的关系图上,点子的分布比较集中(参见图 3 和图 4)。图中大部分点所对应的氨垂直通量密度都小于 $8 \mu\text{gN}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$,而 Freney 等^[10]的观测结果常约为此值的 2.5 倍。

尽管存在这些不足,由参比法测得的碳铵区的垂直通量密度与 0.8 米高度处氨的水平净迁移量之间仍有非常密切的关系(图 3a)。而且,图中回归线的斜率(即 k_1)与过去在澳大利亚进行的研究中得到的结果^[10]相差不到 10%。对于条件很不相同的两个试验来说(风程、作物高度和氨的背景值),这种差异是微不足道的。

但是,本试验中得到的 k_2 值(式 (6))仅约为过去工作中得出的数值的一半(图 3b)。后者是在澳大利亚的草地上,在迎风采样器的早期试验中得出的(表 2)。这种差异不是由于地表形貌的不同(即草地或淹水层)所致,尽管式 (5) 和 (6) 中的 k 值与地表的粗糙度有关^[3,11]。

由于在风速低时,采样器可能未能准确地跟踪风向,或者由于氨的水平迁移量背景值, $(\overline{u\rho})_0'$ (必须从 $(\overline{u\rho})_{0.8}$ 中减去此值,以计得圆形区的水平迁移量)未能准确测定,都可能影响到 k_2 值的大小。从图 5 来看,在中国的试验期间,风速比较集中在 1—2 m/sec 之间,而在澳大利亚则风速的变动范围比较大,不同风速的频率分布则比较均一。但是,试验期间两点的风向都比较稳定,加之采样器与风向之间允许相差 $\pm 30^\circ$ ^[11],因此,由采样器未能准确跟踪风向所引起的误差可能不大。

两个试验点的氨浓度背景值差异很大。在澳大利亚,所有的观测值都低于 $5 \mu\text{gN}/\text{m}^3$,而在中国丹阳,没有观测到这样低的结果,观测值的众值在 20—25 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ 之间,极端最高值超过 45 $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ (图 5)。近期内附近农田施用过氮肥,以及距离碳铵工厂较近(约 2 公里),可能是造成氨浓度背景值比较高的原因。

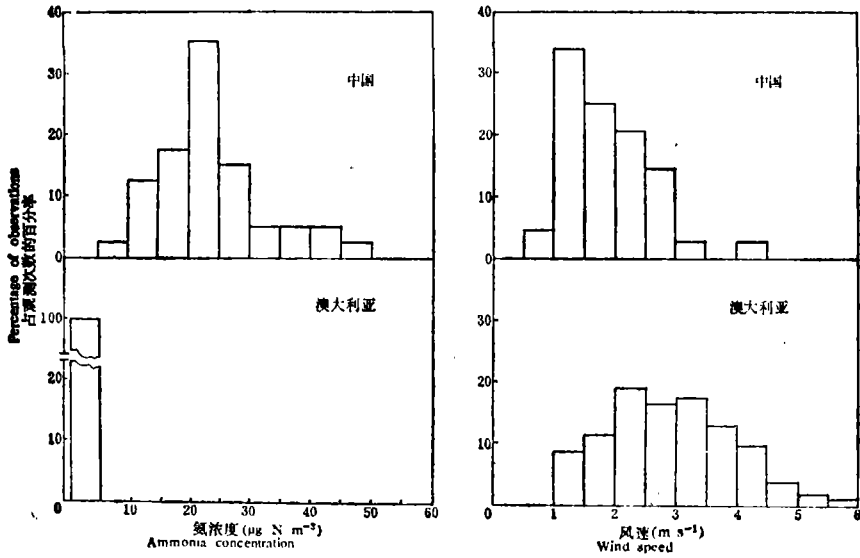


图 5 在中国和澳大利亚测得的氨背景值和风速的频率分布
 Fig. 5 Frequency distributions of background ammonia concentrations and winds speeds measured in China and Australia

在中国丹阳的试验中,测定了 4 个高度处的氨浓度背景值。结果表明,即使是在同次测定中,4 个高度处的氨浓度背景值也常有很大的差异。这意味着,到达试验区的空气不是一个均一体。不同时间测得的 4 个高度的平均氨浓度背景值的波动很大(图 5)这一事实也说明了这一点。因此,用采样器只在一个高度(0.8 米)处测定氨的水平通量密度的背景值 $(\overline{u\rho})_b'$,并不能作为到达施肥区的大气在 0.8 米高度处氨水平迁移量背景值的准确量度。而且,在施肥区上风处测得的氨水平通量密度与通过施肥区后在下风处测得的氨水平通量密度的差值愈小,则计得的施肥区的氨垂直通量密度的准确性就愈低。与在澳大利亚进行的观测相比,在中国丹阳的试验中,经常出现这种情况。

由气体动力学—水化学法测得的氨挥发总量的误差比较大,这与 k_3 值受许多因素的影响而易于波动有关。Freney 等^[10]指出, k_3 值变动于 0.75×10^{-3} 至 2.95×10^{-3} 之间,而可能是试验点某些特征值的函数,如水层深度和混浊度,以及太阳辐射强度和水面水对太阳辐射的吸收特点等。在澳大利亚温带地区进行的试验中得出的 k_3 值比较低(例如, $k_3 = 0.75, 0.885$),水层深度通常超过 0.1 米。而在中国北亚热带和菲律宾热带地区的试验中,水层深度小于 0.05 米, k_3 值则比较高(例如 $k_3 = 1.02, 2.95$)。图 4 中一个偏离回归线较大的点,对该线的斜率影响很大。图中同时绘出了 $k_3 = 2.95$ 时的回归线,以供比较其他各数据点之用。比较气体动力学—水化学法与参比法测得的氨挥发总量的结果(表 1 和表 2)可以看出, k_3 值介于 1.02 和 2.95 之间。

因此,尽管气体动力学—水化学法比较简便,并可用来比较不同处理的氨挥发损失,但从本试验的结果来看,其准确性较差,尚难应用。而 Leuning 等^[11]研制的迎风采样器,只要精心选择试验点和安排试验区,而且氨浓度的背景值又比较低,则可能是一个测定水田施肥后氨挥发量的有效装置。单一高度法的测定结果虽与参比法最接近,但是对于动

力和设备等的要求都与参比法相同,只是工作量较小而已。总的来看,我们仍需结合不同条件,以参比法为标准,研究确定这些简化法的有关常数的数值,以便应用于不同试验条件和试验目的。

参 考 文 献

- [1] 陈荣业、朱兆良, 1982: 氮肥去向的研究 I. 稻田土壤中氮肥的去向。土壤学报, 第 19 卷 2 期, 122—130 页。
- [2] 蔡贵信、朱兆良、朱宗武, A. C. F. Trevitt, J. R. Freney, and J. R. Simpson, 1985: 水稻田中碳铵和尿素的氮素损失的研究。土壤, 第 17 卷 5 期, 225—229 页。
- [3] Denmead, O. T., 1983: Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. In "Gaseous Loss of Nitrogen from Plant-Soil Systems". (Eds J. R. Freney and J. R. Simpson) pp. 133—158. (Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers: The Hague.)
- [4] Denmead, O. T., Freney, J. R., and Simpson, J. R., 1976: A closed ammonia cycle within a plant canopy. Soil Biol. Biochem., 8: 161—164.
- [5] Denmead, O. T., Simpson, J. R., and Freney, J. R., (1977): A direct field measurement of ammonia emission after injection of anhydrous ammonia, Soil Sci. Soc. Am. J., 41: 1001—1004.
- [6] Denmead, O. T., Freney, J. R., and Simpson, J. R., 1982: Dynamics of ammonia volatilization during furrow irrigation of maize. Soil Sci. Soc. Am. J., 46: 149—155.
- [7] Fillery, I. R. P., Simpson, J. R., and De Datta, S. K., 1984: Influence of field environment and fertilizer management on ammonia loss from flooded rice. Soil Sci. Soc. Am. J., 48: 914—920.
- [8] Freney, J. R., Denmead, O. T., Watanabe, I., and Craswell, E. T., 1981: Ammonia and nitrous oxide losses following applications of ammonium sulfate to flooded rice. Aust. J. Agric. Res., 32: 37—45.
- [9] Freney, J. R., Simpson, J. R., and Denmead, O. T., 1981: Ammonia volatilization. In "Terrestrial Nitrogen Cycles: Processes, Ecosystem Strategies and Management Impacts" (Eds F. E. Clark and T. Rosswall) pp. 291—302. Ecological Bulletins No 33. (Swedish Natural Science Research Council: Stockholm)
- [10] Freney, J. R., Leuning, R., Simpson, J. R., Denmead, O. T., and Muirhead, W. A., 1985: Estimating ammonia volatilization from flooded rice fields by simplified techniques. Soil Sci. Soc. Am. J., 49: (in press).
- [11] Hales, J. M., and Drewes, D. R., 1979: Solubility of ammonia in water at low concentrations. Atmos. Environ., 13: 1133—1147.
- [12] Koelliker, J. K., and Miner, J. R., 1973: Desorption of ammonia from anaerobic lagoons. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 16: 148—151.
- [13] Leuning, R., Denmead, O. T., Simpson, J. R., and Freney, J. R., 1984: Processes of ammonia loss from shallow floodwater. Atmos. Environ. 18: 1583—1592.
- [14] Leuning, R., Freney, J. R., Denmead, O. T., and Simpson, J. R., 1985: A sampler for measuring atmospheric ammonia flux. Atmos. Environ. 19 (in press).
- [15] Wilson, J. D., Thurtell, G. W., Kidd, G. E., and Beauchamp, E. G., 1982: Estimation of the rate of gaseous mass transfer from a surface source plot to the atmosphere. Atmos. Environ., 16: 1861—1867.
- [16] Wilson, J. D., Catchpole, V. R., Denmead, O. T. and Thurtell, G. W., 1983: Verification of a simple micrometeorological method for estimating the rate of gaseous mass transfer from the ground to the atmosphere. Agric. Meteorol., 29: 183—189.

METHODS FOR ESTIMATING VOLATILIZATION OF AMMONIA FROM FLOODED RICE FIELDS

J. R. Freney, A. C. F. Trevitt

(Division of Plant Industry, CSIRO)

Zhu Zhaoliang, Cai Guixin

(Institute of Soil Science, Academia Sinica)

J. R. Simpson

(Division of Plant Industry, CSIRO)

Summary

Three simplified methods for estimating the volatilization of ammonia from flooded rice fields were assessed when the plants are small and sparse in the field at Lianhu Farm, China. The most accurate and reliable technique involved the measurements of wind speed and ammonia concentrations in the atmosphere at 0.8 m above the floodwater surface. A slightly less reliable estimation could be obtained with a specially designed ammonia sampler which gave a measure of the horizontal transport of ammonia at a fixed height. In remote locations the sampler method may be preferred because electrical power, pumps, flow meters and anemometers are not required.