

种稻下氮素的气态损失与 氮肥品种及施用方法的关系

朱兆良 张绍林 徐银华

(中国科学院南京土壤研究所)

关于水稻田中¹⁵N标记氮肥的氮素去向,国内外都积累了一些资料,并发表了文献综述[1,2]。近些年来,稻田中氮肥的氮素损失途径的研究又受到了重视[3-6]。在前两报中[5,6],我们报导了在石灰性和微酸性水稻土上,碳铵、尿素和硫铵的氮素损失的盆栽和田间试验研究的结果。本次试验的目的主要是探讨两种措施在减少氮素损失中的作用。

在旱作水分条件下,表施于酸性和微酸性土壤上的尿素,其氨挥发可以通过加入氯化铵或氯化钾而明显减少[7,8]。我们设想,是否可以在尿素或碳铵中加入氯化铵,以减少稻田中氮素的损失。此外,经验表明,稻田中氮肥混施时,田面是否有水层,以及水层的深浅对氮素损失有显著的影响[2]。据此,我们曾于1984年在田间试验中研究了无水层混施在减少氮素损失中的作用,但是没有得到正的结果[5]。因此,有必要在更为严格地控制条件下,对这一施用方法在减少氮素损失中的作用加以检验。

一、试验材料和方法

供试土壤为太湖地区的爽水水稻土(黄泥土)和漏水水稻土(石灰性沙壤土)的耕层土样。1985年春分别采自江苏省吴县和沙州县,pH分别为6.6和8.4(石灰性沙壤土含游离碳酸钙5.56%),有机质3.69%和1.97%,全氮0.213%和0.125%(风干基)。土样经风干碾碎后备用。试验用的特制密闭钵及试验方法,除本文特别说明者外,皆同前报[6]。为了达到氨挥发的最大量,钵内水面以上空间的空气流速皆为10升/分(相当于换气频率20次/分)。试验期间每天白天连续通气10小时,用3个硼酸吸收瓶吸收逸出的氨。

(一)氮肥品种试验 供试土壤系黄泥土。设尿素(U)、碳铵(N_C)、氯化铵(N_{Cl})、 $\frac{1}{2}$ 尿素-N + $\frac{1}{2}$ 氯化铵-N($\frac{1}{2}$ U + $\frac{1}{2}$ N_{Cl})、和 $\frac{1}{2}$ 碳铵-N + $\frac{1}{2}$ 氯化铵-N($\frac{1}{2}$ N_C + $\frac{1}{2}$ N_{Cl})共5个处理,3个重复。每盆施N 0.473—0.496克。尿素、碳铵和氯化铵的¹⁵N丰度分别为11.71%、11.01%和11.63%。盆内土壤于6月23日淹水,24日下午在土面水层约3厘米下,撒施固体氮肥,不加搅动。随即插秧。水稻品种为原丰早,秧龄25天。生长至7月29日收获,历时34天。试验期间钵内土面保持水层约3厘米。每日上午8时和下午2—3时观测土面水的温度和pH。定期采取土面水样,更换吸收瓶中的硼酸液,时间都在上午8—9时。

(二)氮肥施用方法试验 供试土壤为石灰性沙壤土。设尿素有水层表施(U表)、尿素无水层混施(U混)、碳铵有水层表施(N_C表)、碳铵无水层混施(N_C混)4个处理。4个重复。施氮量同试验1。8月5日下午施肥。有水层表施者,施肥方法见试验1。无水层混施者,系在土壤处于饱和含水量而无水层的情况下,撒施固体氮肥,用铁丝耙将氮肥混入上层约5厘

米的土壤中，而后加水至水层约深3厘米，随即插秧。水稻品种为原丰早，秧龄20天。生长至9月10日收获，历时35天。

土壤和植株的全氮、水样中的 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 和尿素态氮、吸收液中的铵态氮的测定方法皆同前报^[6]。样品的 ^{15}N 丰度由我所质谱组测定。

二、结果和讨论

(一) 氮肥品种试验 试验期间土面水的温度和pH的测定结果示于图1，土面水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的含量及氨的平均挥发速率的测定结果汇于表1和表2。

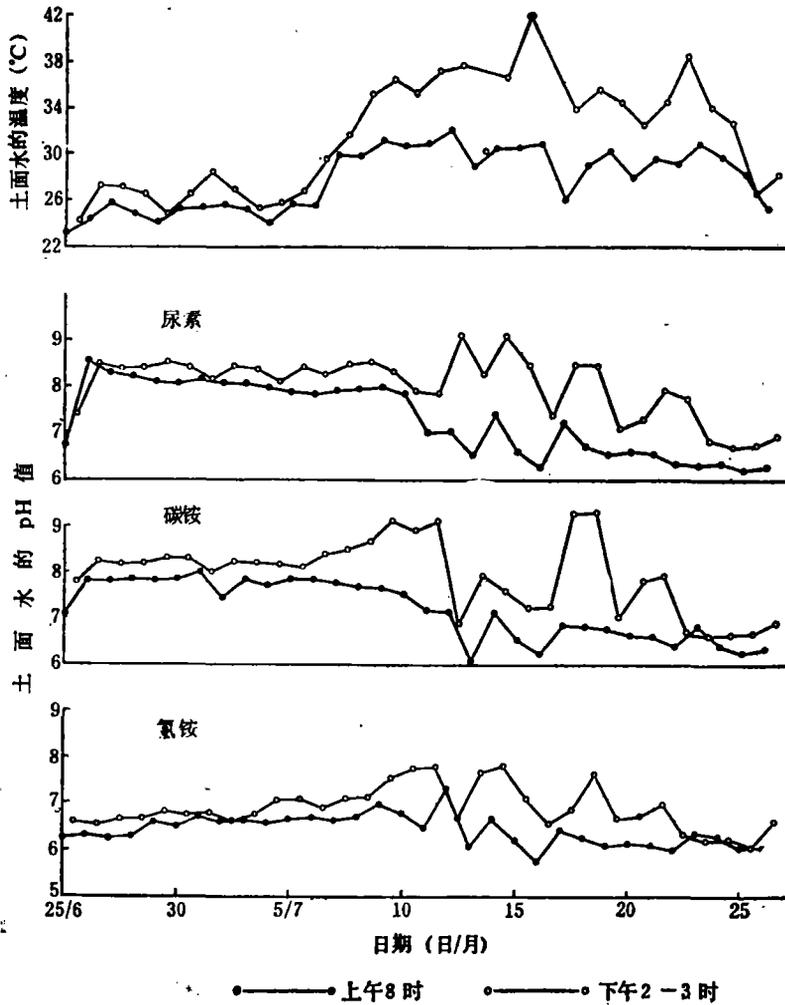


图1 不同氮肥处理土面水pH值的变化(黄泥土)

观测结果表明，各处理在上午8时测得的土面水的pH值，除个别例外，都低于当天下午2—3时的测定结果，相差可达0.4—2.4个pH，在下午的测定中，pH可达9以上。这与热带水稻田中的观测结果相似^[9]。此外，图1还表明，土面水pH值的日变幅大体上可以分为两个阶段，即在施肥后约10—15天以内，日变幅较小，此后的日变幅则较大。土面水pH值日变

表 1

土面水的温度、pH、 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 和 $\text{NH}_3 - \text{N}^*$ 的含量

(黄泥土, 上午 8 时测定, 3 个重复的平均值)

项 目	处 理	测定日期(日/月)					
		26/6	29/6	3/7	6/7	9/7	18/7
水温($^{\circ}\text{C}$)		24.4	23.9	25.3	25.5	31.1	26.0
水的pH	U	8.54	8.06	8.05	7.81	7.96	7.21
	Nc	7.81	7.82	7.83	7.86	7.64	6.85
	NcI	6.32	6.58	6.63	6.67	6.99	6.43
	$\frac{1}{2}\text{U} + \frac{1}{2}\text{NcI}$	7.43	7.58	7.68	7.50	7.13	6.78
	$\frac{1}{2}\text{Nc} + \frac{1}{2}\text{NcI}$	6.92	6.98	6.93	6.85	6.86	6.77
水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ (毫克/升)	U	130	55	59	51	18	2
	Nc	198	59	57	59	19	3
	NcI	343	110	114	118	55	7
	$\frac{1}{2}\text{U} + \frac{1}{2}\text{NcI}$	422	76	77	82	31	4
	$\frac{1}{2}\text{Nc} + \frac{1}{2}\text{NcI}$	527	55	68	74	31	4
水中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ (毫克/升)	U	20	3.1	3.6	1.8	1.3	0.019
	Nc	6.7	2.0	2.1	2.4	0.69	0.013
	NcI	0.39	0.20	0.28	0.32	0.46	0.011
	$\frac{1}{2}\text{U} + \frac{1}{2}\text{NcI}$	6.0	1.5	2.1	1.5	0.35	0.014
	$\frac{1}{2}\text{Nc} + \frac{1}{2}\text{NcI}$	2.3	0.27	0.33	0.30	0.19	0.014

* 根据水的温度、pH和 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 的含量计算而得。计算公式可参见文献[11]。

幅的增大, 与水温日变幅的增大, 在时间上是吻合的。这表明, 在晴朗的天气里, 水温的日变幅大、光照强, 白天水中藻类的光合作用比较强, 因此受这一作用影响的土面水的pH值就显著升高, 因而pH值的日变幅比较大。至于氯铵处理土面水pH值的日变幅小于碳铵和尿素处理, 所达到的pH峰值则较低的现象, 可能与氯铵的酸性较强。相对地不利于藻类的生长有关^[10]。应当指出, 土面水的午间pH值明显增高的阶段, 出现在土面水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 的浓度明显降低后的一段时间内。由于此时与氨挥发速率直接有关的水中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的浓度并不高, 因此氨的挥发速率也就很低(图 1 和表 1、表 2)。

在本试验中, 土面水的温度、水层深度和水面以上空间的换气频率, 在不同处理之间都是

表 2

不同阶段中氨挥发的平均速率(毫克N/盆·天)

(黄泥土, 3 个重复的平均值)

处 理	测定日期(日/月)						
	25-26/6	27-28/6	29/6-2/7	3-5/7	6-8/7	9-17/7	18-28/7
U	4.2	9.9	6.7	5.3	7.9	1.1	0.35
Nc	10.8	9.3	6.3	5.3	7.9	1.6	0.42
NcI	0.9	1.9	2.2	2.3	3.2	0.8	0.20
$\frac{1}{2}\text{U} + \frac{1}{2}\text{NcI}$	3.4	6.8	4.9	4.7	6.5	1.5	0.34
$\frac{1}{2}\text{Nc} + \frac{1}{2}\text{NcI}$	5.4	5.0	4.4	4.4	6.1	1.6	0.25

的,因此,处理间氨挥发速率的差异主要决定于土面水的pH值和 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 浓度的不同,即决定于水中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度的不同。从表1和表2来看,氯铵处理土面水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 的浓度,在施肥后相当长的一段时间内虽都比尿素和碳铵处理的高得多,但是,由于水的pH值很低,因此水中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的浓度和氨挥发的平均速率都显著低于尿素和碳铵处理。至于碳铵的氨挥发,根据以往的研究,施用后水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 的浓度和pH值立即显著升高,从而出现氨挥发的高峰,经10多个小时后,水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 的浓度即明显下降,氨挥发速率也随即显著降低^[5]。在本次试验中,由于第一次采水样的时间迟至施肥后约39小时,因此测得的 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 浓度已不能反映施肥后最初阶段的情况。但是,由于施肥后即开始收集逸出的氨,因此从表2仍可看出,碳铵处理的氨挥发速率是各处理中最高的,特别是施肥后的最初63个小时之内。尿素与碳铵的主要差别在于它需经水解才能使水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 的浓度和pH值升高,因此氨挥发速率的高峰出现的时间比较迟,峰值也略低于碳铵处理。

尿素与氯铵混合施用的处理,其土面水的pH值介于尿素单施和氯铵单施两处理之间,因此,其水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) - \text{N}$ 的浓度虽然很高,但 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度和氨挥发速率都始终低于尿素单施的处理,当然都明显地高于氯铵单施的处理。碳铵与氯铵混合施用的处理与碳铵及氯铵单施的处理相比,也存在着类似的趋势。

表3 氮肥的氮素损失(占施入N的%)
(黄泥土, 7月29日采样, 3个重复的平均值)

处 理	总损失	氨挥发	反硝化
U	31.6a	18.3ab	13.4a
N_0	35.0a	22.2a	12.9a
N_{01}	17.2b	6.2c	11.0a
$\frac{1}{2}\text{U} + \frac{1}{2}\text{N}_{01}$	30.6a	15.2ab	15.4a
$\frac{1}{2}\text{N}_0 + \frac{1}{2}\text{N}_{01}$	24.5ab	14.9b	9.6a

注: 1. ^{15}N 标记氮肥的氮素平衡帐中的亏缺部分计为总损失,从中扣除直接测得的氨挥发后计得反硝化损失。

2. 同一栏中具有相同字母的数据之间的差异,未达到5%显著水准(新复极距测验)。

化两种氮素损失途径的相对重要性来看,如表3所示,对供试的黄泥土来说,碳铵以氨挥发损失为主,但反硝化损失仍占总损失的37%而不容忽视;氯铵则以反硝化损失为主,但氨挥发也占36%;尿素的情况大体上介于二者之间,氨挥发和反硝化分别占总损失的58%和42%。这与前报中^[6]该类型土壤上的一些研究结果相似。

氯铵与尿素或碳铵混合施用能否减少氮素损失,是本试验的主要目的。从表3来看, $\frac{1}{2}\text{U} + \frac{1}{2}\text{N}_{01}$ 处理的总损失为30.6%,尿素及氯铵分别单施时的总损失之和的一半为24.4%。这似乎表明尿素中混入氯铵反而增加了氮素总损失,但未达到统计显著水准。再从氨挥发损失来看,相应的对比数据分别为15.2%和12.3%,反硝化损失的相应数据为15.4%和12.2%,差异也都不大。同样, $\frac{1}{2}\text{N}_0 + \frac{1}{2}\text{N}_{01}$ 的总损失、氨挥发和反硝化损失分别为24.5%、14.9%和9.6%,碳铵及氯铵分别单施时的总损失、氨挥发或反硝化损失各个和量的一半分别为26.1%、14.2%和

表3列出了不同处理在试验结束时的氮素损失情况。三种氮肥的氮素总损失是:碳铵 \geq 尿素 $>$ 氯铵。这种差异主要是由于它们的氨挥发的不同所致。而反硝化损失,三种氮肥之间的差异则很小。导致它们氨挥发差异较大的原因已如前述。至于反硝化损失量相近的原因则尚需进一步研究。可能的解释是:供试土壤系高肥力的黄泥土,脲酶活性比较高,尿素施入后约63小时,水中尿素氮的含量已降至46毫克/升,至约87小时更降至7毫克/升。因此,制约反硝化损失量的主要因素,即表层土壤中铵态氮的浓度对三种氮肥处理来说可能差异不大,因而反硝化损失量也就比较接近。此外,从氨挥发和反硝

12.0%，也都与混合施用时的相应数据十分接近。由此看来，尿素或碳铵与氯铵混合施用，并未能真正地减少氮肥的氮素损失，也未明显地改变不同损失途径的相对重要性，混合施用时的氮素的损失基本上是分别单施时氮素损失量的代数和。这与Watkins等^[7]的结论不同。但他们只是以单施尿素的氮挥发作为对照，因此所得结果不能用来判断氯铵与尿素混合施用时所可能取得的实际效果。

(二)氮肥施用方法试验 不同处理土面水的温度和pH的观测结果示于图2。与试验1不同，土面水温的日变幅，在试验期间变化不大，但是土面水pH值的日变幅却与试验1相同，也是前期小、后期大。综合图1和图2，表1和表4的结果来看，当土面水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的浓度显著降低后，土面水pH值的日变幅才出现明显增大的现象。这似乎表明，土面水中 $\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$ 这一反应，对于其pH的升降起着一定程度的缓冲作用。

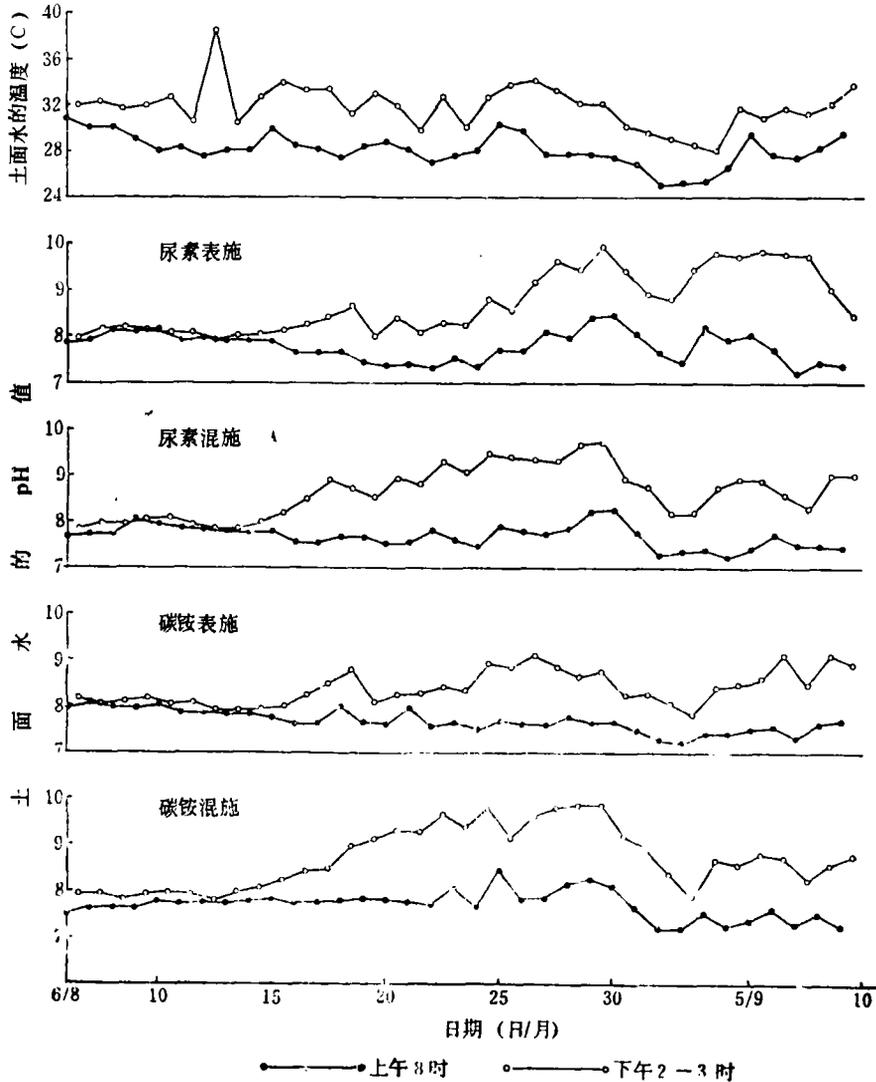


图2 不同施肥方法下土面水pH的变化(石灰性土壤)

从施肥后约15小时(8月5日下午约5时施肥栽秧，至8月6日上午8时采水样)土面水中氮素的浓度来看(表4)，尿素表施下。土面水中存留的尿素氮及 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的总量

表 4

不同施用方法下土面水的pH、 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}^*$ 的浓度

(石灰性沙壤土, 上午 8 时采样, 4 个重复的平均值)

项 目	处理	采 样 日 期 (日/月)									
		6/8	7/8	8/8	9/8	10/8	11/8	12/8	13/8	17/8	23/8
水温(°C)		30.8	31.1	30.1	29.0	28.1	28.3	27.5	28.1	28.1	27.6
pH	U表	7.88	7.95	8.13	8.09	8.15	7.92	7.98	7.93	7.66	7.52
	U混	7.65	7.73	7.76	8.03	7.96	7.86	7.82	7.80	7.52	7.60
	N _e 表	7.93	8.07	7.97	7.97	8.02	7.85	7.88	7.84	7.64	7.62
	N _e 混	7.49	7.62	7.67	7.67	7.79	7.74	7.78	7.74	7.77	8.06
尿素-N(毫克/升)	U表	385	326	139	103	66	33	18	4	—	—
	U混	82	95	58	37	26	15	8	1	—	—
$(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ (毫克/升)	U表	3.5	4.4	5.0	5.7	6.0	4.6	4.2	5.3	1.7	6
	U混	3.3	1.3	3.2	2.5	2.8	2.2	2.0	2.5	1.0	2
	N _e 表	181	83	111	75	70	41	35	41	13	5
	N _e 混	37	2.6	6.8	3.7	3.0	2.6	2.4	2.9	1.0	3
$\text{NH}_3\text{-N}$ (毫克/升)	U表	0.21	3.8	4.9	4.8	5.9	2.6	2.5	3.0	0.52	0.13
	U混	0.12	0.70	1.4	1.8	1.7	1.1	0.85	1.1	0.23	0.052
	N _e 表	12.1	7.6	7.7	4.9	4.8	2.0	1.7	1.9	0.38	0.14
	N _e 混	0.94	1.1	2.5	1.2	1.6	0.97	0.93	1.1	0.39	0.22

* 计算 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的方法见文献(11)。

约占施入氮量的74%，而混施者只有16%；同样，碳铵表施时为34%，混施者只有7%。这表明无水层混施可以显著地减少土面水中肥料氮的存留量。这对于减少氮素损失有重要的意义(2,5)。此后，二种氮肥的表施处理，土面水中氮素的浓度逐渐降低，这显然与氮素损失（特别是氨挥发）和水稻吸收有关。但是混施时，土面水中氮素的最高浓度却出现在施肥后约39小时至63小时之间。这似乎意味着混施入土的氮又有一部分重新进入了土面水中，其量超过了在此期间通过氮素损失等所消耗掉的氮量。可能正是由于这一原因，使得整个试验期间混施处理的氨挥发量(表5)达到甚至超过了施肥后存留于土面水中的氮量。

表 5

不同施用方法下氮肥的氮素损失(占施入 N 的%)

(石灰性沙壤土, 9月10日采样, 4个重复的平均值)

处 理	总 损 失	氨 挥 发	反 硝 化	施肥后土面水中 N 占施入 N 的%
U表	65.9a	30.1b	35.8a	74
U混	39.8b	14.6c	25.1b	16
N _e 表	57.5a	42.2a	15.3c	34
N _e 混	45.4b	24.9b	20.5bc	7

注：见表 3 的注。

碳铵表施时氨挥发速率在施肥后立即达到高峰，此后迅速下降(表6)。混施改变了这一特点，氨挥发速率的高峰值虽然明显地低于表施，但在施肥后相当长的一段时间内都大致保持这一水平，直至施肥11天后才明显降低。这再次表明，混施入土的氮有相当一部分又重新进入土面水中，进而挥发逸出。对于尿素来说，混施处理的氨挥发速率虽然始终低于表施的处理，但高峰出现的时间都在施肥3天以后，高峰持续的时间也较长。从这一点来看，混施尿

表 6

不同施用方法下氮挥发的平均速率(毫克 N/盆·天)

(石灰性沙壤土, 4 个重复的平均值)

处 理	测 定 日 期 (日/月)					
	6—7/8	8—9/8	10—12/8	13—15/8	16—22/8	23/8—9/9
U 表	4.4	13.0	11.5	14.9	5.3	0.39
U 混	2.7	6.8	6.5	8.0	2.6	0.23
N _c 表	32.8	18.0	11.2	9.9	4.8	0.51
N _c 混	9.8	9.9	9.1	10.6	3.8	0.26

素的氮挥发进程, 与表施的具有共同的特点。这与土面水中 $\text{NH}_3\text{—N}$ 浓度的变化趋势是一致的(表4)。在这一点上, 尿素与碳铵的表现是不同的。

表 5 结果表明, 无水层混施处理的氮素总损失, 无论是尿素或碳铵, 都显著低于有水层表施。对于尿素来说, 混施既减少了氮挥发, 又降低了反硝化损失, 其中似乎更多的是减少氮挥发。因此表施时, 在供试的石灰性土壤上, 尿素的氮素损失中, 氮挥发和反硝化大致具有同等的重要性, 而在混施时反硝化损失的相对比例似有所增大。碳铵的情况与此不尽相同。在表施时, 氮挥发远高于反硝化损失而成为氮素损失的主要途径, 反硝化损失只占总损失量的 27%。混施显著降低了氮挥发, 却未能显著地改变反硝化损失量, 因而使得氮挥发和反硝化都成为氮素损失的重要途径。造成尿素与碳铵在这一方面差异的原因值得进一步研究。

比较表 3 和表 5 可以看出, 在同为有水层表施的情况下, 无论是尿素或碳铵, 其总损失、氮挥发和反硝化损失量, 都是石灰性沙壤土上的高于微酸性的黄泥土。但是, 在石灰性沙壤土上, 尿素的氮挥发低于碳铵, 而反硝化损失却高于碳铵。但是, 在黄泥土上, 无论是氮挥发或反硝化损失, 两种氮肥之间都没有显著的差异。这是否与石灰性沙壤土的脲酶活性较低, 而黄泥土的脲酶活性较高有关, 值得进一步探讨。

三、结 语

1. 尿素或碳铵与等氮量氯铵混合施用, 其氮素损失基本上是分别单施时氮素损失量的代数和, 因而并不能真正减少氮肥的氮素损失。

2. 无论是尿素或碳铵, 在无水层混施下作水稻基肥, 其氮素损失比有水层表施的低得多。这一措施值得在更大的范围内用田间试验加以检验。混施的主要作用是减少氮挥发, 但有时也可以减少反硝化损失。

参 考 文 献

- [1] Craswell, E. T. and P. L. G. Vlek: Fate of fertilizer nitrogen applied to wetland rice. pp. 237-264, in Freney, J. R. and J. R. Simpson (eds), Gaseous Loss of Nitrogen from Plant-Soil Systems. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. 1983.
- [2] 朱兆良: 我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展。土壤, 17: 1-9, 1985.
- [3] Freney, J. R., O. T. Denmead, I. Watanabe and E. T. Craswell: Aust. J. Agric. Res., 32: 37-45, 1981.
- [4] Simpson, J. R., J. R. Freney, R. Wetselaar, W. A. Muirhead, R. Leuning and O. T. Denmead: Aust. J. Agric. Res., 35: 189-200, 1984.

土壤pH对锰、铜、锌的分配和植物有效性的影响

J. T. Sims用有机质含量(16-100克/公斤)、质地和阳离子交换量不同的四种土壤来研究pH和微量营养元素来源对Mn、Cu、Zn的分配和植物有效性的影响。他根据Shuman的方法把Mn、Cu和Zn区分为交换态、有机态、Mn-氧化物结合态、无定形Fe-氧化物结合态和晶体Fe-氧化物结合态。土壤分别进行加家禽粪或加MnSO₄、CuSO₄和ZnSO₄及对照处理,在pH4.0-7.7范围内研究各级形态的分配情况。土壤pH显著地改变Mn和Zn的分配,而对Cu的影响很小。虽然各种类型的土壤影响有所不同,但pH低于5.2时,Mn和Zn以交换态为主;pH较高时,以有

机络合态和Fe-氧化物结合态为主。土壤中的Cu以有机态为主,尤其是粗质地的土壤,但也有相当一部分为无定形Fe-氧化物结合态,在高pH条件下,由于有机质的作用,降低了Cu的吸附作用。

作者测定了土样中Mn、Cu和Zn的各级形态,并求得其与植物(温室中的大麦实验)吸收Mn、Cu和Zn量之间的相关性。另外还列出所选择的几种土壤化学特性与植物吸收Mn、Cu和Zn量之间的多元回归方程。结果表明,在评价这些土壤中微量营养元素供应情况时,Mn、Cu和Zn的交换态量以及Cu的有机态量是重要的。在评价天然的或加入的Mn、Cu和Zn的丰度时,土壤pH和有机质将显著地改变这些微量营养元素在对植物的有效贮量中的分配,对于这一点,应予以仔细考虑。

(刘志光据 Soil Sci. Soc. Am. J., 50:367-373, 1986)

-
- 5] 蔡贵信,朱兆良,朱宗武 A. C. F. Trevitt, J. R. Freney and J. R. Simpson: 水稻田中碳铵和尿素的氮素损失的研究。土壤, 17: 225-229, 1985.
 - [6] 朱兆良,蔡贵信,徐银华,张绍林: 种稻下氮肥的氮挥发及其在氮素损失中的重要性的研究, 土壤学报, 2: 320-328, 1985,
 - 7] Watkins, S. H., R. F. Strand, D. S. DeBell and J. Esch, Jr.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36: 354-357, 1972.
 - [8] Rappaport, B. D. and J. H. Axley: Soil Sci. Soc. Amer. J., 48: 399-401, 1984.
 - [9] Mikkelsen, D. S., S. K. De Datta and W. N. Obcernea: Soil Sci. Soc. Amer. J., 42: 725-730, 1978.
 - [10] Roger, P. A. and S. A. Kulasoriya: Blue-green Algae and Rice. IRRI. 1980.
 - [11] Freney, J. R., J. R. Simpson and O. T. Denmead: Volatilization of ammonia. pp. 1-32, in Freney, J. R. and J. R. Simpson (eds), Gaseous Loss of Nitrogen from Plant-Soil Systems. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. 1983.