

水稻田中碳铵和尿素的氮素损失的研究*

蔡贵信 朱兆良

朱宗武

(中国科学院南京土壤研究所) (江苏省丹阳县国营练湖农场)

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

(Division of Plant Industry, CSIRO, Australia)

碳铵和尿素是中国的主要氮肥品种。研究表明,施入稻田后其氮素损失可达30—70%^[1]。为了减少氮肥的氮素损失,已经对许多施肥技术进行了研究,其中效果比较明显的是粒肥深施,但是,这项技术在推广应用中还存在着一些困难,主要是比较费工。氮肥在稻田中作基肥混施,由于简便易行,目前应用比较普遍。但是,在减少氮素损失方面它远不如粒肥深施的作用大^[2]。看来,为了减少稻田中氮肥氮素的损失,提高氮肥的增产效果,需要继续研究和发展多种施用技术,以适用于不同的生产条件。探明在不同条件下,稻田中氮肥氮素的主要损失途径,将为发展多种有效施用氮肥的技术提供依据。

稻田中硝化一反硝化作用可能是铵态氮肥氮素损失的重要机制。但是,在有的试验中,氨的挥发损失也可达到很高的程度^[3,4]。看来,稻田中通过不同途径所损失的氮素,在氮肥氮素总损失中的相对重要性与试验条件有关。

1984年我们在田间对碳铵和尿素的氮素损失,以及氮肥施用时间稻田田面的水分状况对氮素损失的影响进行了研究。现将结果报告如下。

一、试验方法

(一) 试验处理和试验经过

试验在江苏省丹阳县国营练湖农场的稻田中进行。土壤为湖积物发育的水稻土,耕层土壤的pH为5.2—5.4,全氮0.14—0.18%,阳离子交换量24.2—25.6毫克当量/100克土,<0.001毫米粘粒39.9—43.8%。

试验分为两组。一组是用微气象学技术^[5],结合¹⁵N标记氮肥的氮素平衡的测定,研究现行施肥方法下氨的挥发和氮素的总损失。试验区为设在大田中的两个半径为25米的圆形地块,沿圆周筑埂,埂高约15厘米。两个圆形区分别为碳铵和尿素区,两区相隔约80米。在上水耙平筑埂后,于6月20日0745至0915时间内,将氮肥撒施于田面水中,然后与土耙混,深约5厘米,用量为90公斤N/公顷。随即插秧,并开始观测氨的挥发。水稻品种为汕优3号,苗高

* 本项合作研究得到澳大利亚国际农业研究中心(ACIAR)的部分资助,以及国营练湖农场的大力支持。参加本工作田间测定的还有:中国科学院南京土壤研究所徐银华和张锡林同志,练湖农场唐宝云、孙育东和倪梅霞同志。样品的¹⁵N丰度的测定由中国科学院南京土壤研究所质谱组承担。在此一并致谢。

20—35厘米，株行距14厘米×27厘米。在观测期间(6月20日至27日)，田面水层深度平均约为4厘米。试验区周围80—150米范围内的大田，于6月18日以前施用硫酸作基肥，在本试验观测期间不再施肥。至7月15日幼穗分化前，两圆形区又分别表施碳铵和尿素45公斤N/公顷。

另一组为氮肥施用方法的小区试验，共设8个处理：

- (1) 对照，不施氮肥；
- (2) 碳铵粉肥撒施于约5厘米深的田面水中(简称碳铵有水层表施)；
- (3) 碳铵粉肥撒施于约5厘米深的田面水中，与土耙混(简称碳铵有水层混施)；
- (4) 碳铵粉肥撒施于无水层的田面，与土耙混，然后灌水至约5厘米深(简称碳铵无水层混施)；
- (5) 碳铵粒肥(直径约8毫米，每粒重约1克)撒施于约5厘米深的田面水中，与土耙混(简称碳铵粒肥有水层混施)；
- (6) 尿素撒施于约5厘米深的田面水中(简称尿素有水层表施)；
- (7) 尿素撒施于约5厘米深的田面水中，并与土耙混(简称尿素有水层混施)；
- (8) 尿素撒施于无水层的田面，与土耙混，然后灌水至深约5厘米(简称尿素无水层混施)。

每个处理4个重覆。小区面积8.3米×3.2米。氮肥用量、水稻品种和插秧规格等皆同上述圆形区。

在圆形区和小区中，同时设置¹⁵N标记氮肥的微区。微区系由直径为29厘米和20厘米两种规格的无底塑料筒构成。筒高40厘米，压入土中30厘米，高出田面约10厘米。标记氮肥的¹⁵N丰度约为12%。大筒中栽秧2穴，小筒中栽秧1穴。在圆形区的两种氮肥处理中各设12个微区，其中8个供基肥试验用，4个供追肥试验用。小区试验中施碳铵的每个处理各设4个微区。¹⁵N样品的处理和分析方法见前报^[2]。

(二) 氮挥发的观测方法

用微气象学技术^[5]观测白天0800至1800时间内的氮挥发。具体作法是：在每个圆形区的中心设一竖杆，在竖杆的8个高度处安装空气取样装置和风杯。这8个高度分别为距水面0.1米、0.2米、0.4米、0.8米、1.2米、1.8米、2.6米和3.6米。空气取样装置为一带孔的水平横管，联接于含1%磷酸的吸收管上，管内装满玻璃珠和玻璃棉。吸收管与流量计和真空泵相联接，抽气速率约为10升/分。每两小时取样一次，测定吸收液中氮的浓度(氨电极—毫伏计法)。用自动记录仪记录在此期间8个相应高度处的平均风速，并测量田面水的温度、pH(玻璃电极法)和(NH₄⁺ + NH₃)—N的浓度(氨电极—毫伏计法)。另在两个圆形区的东边约100米处设一竖杆，测定空气中氮浓度的背景值。

在夜间(每天1800至次日0800时)圆形区的氮挥发量，以及氮肥施用方法小区试验中各处理的氮挥发量，皆按照水化学法^[6]计算。

二、试验结果和讨论

(一) 圆形区中碳铵和尿素的氮素损失

1. ¹⁵N标记氮肥的氮素平衡。设在圆形区中¹⁵N标记氮肥的微区试验结果列于表1。作基肥混施者，无论是碳铵或尿素，在施肥后9天时，其氮素损失都与施肥后65—66天的测定

表 1

 ^{15}N 标记氮肥的氮素平衡

(圆形区中的微区试验)

处 理	采 样 时 间	^{15}N 回收和损失 (占施入N的%)	碳 铵	尿 素
移栽前(6月20日) 混施,90公斤N/公顷	6月29日 (施肥后9天)	水稻全株回收	4.0±0.4	5.7±1.5
		土壤(0-15厘米)中残留	35.6±3.0	46.2±3.7
		总回收	39.6±2.8	51.9±4.4
		损失	60.4	48.1
移栽前(6月20日) 混施,90公斤N/公顷	8月24-25日 (施肥后65-66天)	水稻全株回收	25.4±0.6	37.8±3.1
		土壤(0-15厘米)	16.4±5.8	19.2±3.6
		15-30厘米	1.2±0.3	0.3±0.4
		总回收	43.0±5.9	57.3±3.8
		损失	57.0	42.7
幼穗分化前(7月15日) 表施,45公斤N/公顷	7月20日 (施肥后5天)	水稻全株回收	43.9±8.5	61.4±5.3
		土壤(0-15厘米)中残留	22.0±6.9	18.1±1.4
		总回收	65.9±11.6	79.5±4.6
		损失	34.1	20.5

注:表列数据系平均值±标准差。

结果没有什么差异。这表明氮肥混施作基肥者,其氮素损失几乎全部发生在施肥后的9天之内。这与过去的观测结果相一致^[7]。这就提出一个问题,即在施肥后9天,为什么土壤中尚残留有大量的肥料氮,但它不再继续大量损失,而是主要地被水稻所吸收?目前对这一现象尚难作出恰当的解释,有待进一步的研究。

从两次测定的平均值来看,作基肥混施的碳铵,其氮素损失为58.7%,尿素则略较低一些,其值为45.4%。在幼穗分化前表施,氮素损失比较少,碳铵和尿素分别为34.1%和20.5%。即尿素的氮素损失低于碳铵,作物生长旺盛时期追施,其氮素损失则低于早期施用。这些都与过去的结果相一致^[2]。

表1结果还表明,在施肥后65—66天取样测定,分布在15—30厘米土层中的肥料氮的数量很少。与过去用硫酸铵进行试验的结果相一致^[8]。这表明,在粘质和粘壤质水稻土上表施或混施氮肥时,在当季水稻生长期肥料氮的淋洗损失是很少的。氮素损失的主要途径应为气态损失。

2. 氨的挥发。测定结果汇总于表2。碳铵除了直接提高了田面水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的浓度以外,还由于其本身的弱碱性而使田面水的pH升高,因而施用后氨的挥发立即发生并达到高峰,高峰值达到2.3公斤N/公顷·小时。此后,由于田面水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的浓度迅速降低,氨的挥发速率迅速降至很低值。与此不同,尿素区田面水的pH和 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的浓度,在施肥后的当天都很低,然后随着尿素的水解而逐渐升高,但其 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的最高浓度也不过是40ppm左右,因此,氨的挥发速率始终不高,高峰值只有0.2公斤N/公顷·小时左右,远低于碳铵区。

在6月20日至27日观测期间,碳铵区氨的挥发损失累计为17.6公斤N/公顷,占施入氮量的19.5%,尿素区为7.9公斤N/公顷,占8.8%。结合表1的结果可以推论,碳铵区通过硝化—反硝化作用所损失的肥料氮约占施入氮量的39%,尿素区约为37%。这表明,在本试验条件下,无论碳铵或尿素,其氮素损失的主要途径是硝化—反硝化作用,而不是氨的挥发。

在热带地区的田间观测中,稻田田面水的pH,因受藻类光合作用的影响,在白天可高达

表 2

田面水pH、(NH₄⁺ + NH₃)—N浓度和氨的挥发速率

观测时间	田面水的 pH		田面水中 (NH ₄ ⁺ + NH ₃)—N浓度 (ppm)		氨的挥发速率 (公斤N/公顷·小时)	
	碳酸区	尿素区	碳酸区	尿素区	碳酸区	尿素区
6月20日 0926—1800	7.5—7.8	6.4—6.9	150—183	2—7	0.44—2.3	0.01—0.08
1800—0800	7.4—7.8	6.5—6.8	112—183	7—8	0.044	0.0004
6月21日 0800—1800	7.3—7.4	6.8—7.4	48—112	8—27	0.09—0.25	0.003—0.13
1800—0800	7.4	7.3—7.4	51—55	27	0.009	0.009
6月22日 0800—1800	7.4—7.6	7.5—7.7	20—51	27—40	0.03—0.17	0.04—0.13
1800—0800	7.5—7.6	7.6	23—44	38—40	0.018	0.032
6月23日 0800—1800	7.3—7.6	7.5—7.8	17—44	31—43	0.01—0.07	0.04—0.17
1800—0800	7.6—7.7	7.7—7.8	19—25	39—41	0.008	0.028
6月24日 0800—1800	7.2—7.6	7.5—7.8	11—25	28—39	0.01—0.06	0.06—0.24
1800—0800	7.5	7.6—7.8	13—15	31—32	0.003	0.016
6月25日 0800—1800	7.2—7.5	7.5—7.8	8—16	23—35	0.04—0.06	0.04—0.08
1800—0800	7.1—7.4	7.4—7.7	9—11	23—25	0.0008	0.008
6月26日 0800—1800	7.2—7.5	7.5—7.7	9—11	20—28	0.03—0.06	0.05—0.14
1800—0800	7.3—7.4	7.6—7.7	9—11	23—26	0.0006	0.008
6月27日 0800—1800	7.0—7.2	7.2—7.5	9—11	20—23	0.04—0.06	0.02—0.07

注：在观测期间，白天每两小时，夜间14个小时的平均风速（距水面3.6米高处）在0.83—5.17米/秒之间，大多在2—4米/秒之间。田面水的温度在23—39℃之间。

9以上^[9,10]，从而促进氨的挥发。在本次试验中，根据肉眼观察，田面水中藻类的生长量很少，因而田面水的pH主要取决于土壤、灌溉水和氮肥本身的酸碱度。由于供试土壤和灌溉水都是偏酸性的，碳酸又属弱碱性物质，因此田面水的pH值始终没有达到8。这可能是本试验中氨的挥发损失不多的主要原因。至于藻类生长量少的原因则尚不明确，看来与试验期间多为多云天气，因而光照较弱有关。

(二) 小区试验中氮肥施用方法对氮素损失的影响

在以往的盆栽试验中我们发现，混施氮肥时土面是否有水层，以及水层的深浅对氮素损失的影响很大。在有水层时混施，大量的肥料氮仍存留于水中，从而易于挥发损失。因此，我们设想是否可以在无水层时混施，以减少氮素损失。此外，为了克服粒肥深施费时费工的缺点，提出了粒肥混施的方法^[11]。因此，在本试验中设计了相应的一些处理。从施肥后当天的观测结果(表3)来看，碳酸粉肥表施于田面水中的处理，田面水中(NH₄⁺ + NH₃)—N的

表 3

不同施用方法下田面水中(NH₄⁺ + NH₃)—N的浓度 (ppm)

采样时间	碳酸有水层表施	碳酸有水层混施	碳酸无水层混施	碳酸粒肥有水层混施
6月20日 0926—1800	103—189	88—136	48—147	50—90
1800—0800	61—103	54—88	38—48	43—69
6月21日 0800—1800	17—61	47—67	38—49	41—55
1800—0800	26—35	41—47	35—42	31—42
6月22日 0800—1800	16—35	21—41	28—42	21—31
1800—0800	16—17	19—21	24—28	17—21
6月23日 0800—1800	14—19	19—25	24—28	13—21
1800—0800	12—14	16—19	21—25	10—13

表 4 不同施用方法下氨的挥发损失

处 理	氨的挥发损失 (占施入氮量的%)
碳铵有水层表施	9.8
碳铵有水层混施	9.3
碳铵无水层混施	4.6
碳铵粒肥有水层混施	7.4
尿素有水层表施	2.5
尿素有水层混施	2.2
尿素无水层混施	2.2

浓度最高,其次为碳铵粉肥有水层混施,而以碳铵粉肥无水层混施和粒肥有水层混施为最低。此后各处理的田面水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的浓度都显著降低,处理间的差异也缩小。尿素各处理的田面水中 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的浓度都比较低,表中不再列出。根据田面水的温度、pH和 $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)\text{-N}$ 的浓度,以及风速,计算了氨的挥发量^[6],如表4。结果表明,无水层混施似可减少碳铵的氨挥发损失。施尿素的各

处理,其氨的挥发损失都很低,明显低于碳铵各处理。这与圆形区中的结果在趋势上是一致的,虽然氨挥发量偏低一些。

从¹⁵N平衡账(表5)的结果来看,不同施用方法之间,碳铵粉肥的氮素损失没有什么差异,都达到60%左右。此值与圆形区中的微区试验结果相一致。

表 5 不同施用方法下¹⁵N-碳铵的氮素平衡
(占施入N的%)

处 理	水稻全株回收	0—15厘米土壤中残留	总 回 收	损 失
有水层表施	19.2±1.5	20.2±1.8	39.4±1.9	60.6
有水层混施	21.2±3.2	20.2±3.0	41.4±2.8	58.6
无水层混施	20.8±3.6	19.3±1.3	40.1±4.7	59.9

注:施肥后64天(8月23日)采样。表列数据系平均值±标准差。

三、小 结

1. 在酸性粘质水稻土上,碳铵和尿素作水稻基肥与土混施时,氮素损失高达59%和45%,其中氨的挥发损失为20%和9%。分配在15—30厘米土层中的肥料氮只有1%或更低。因此可以推论,在本试验条件下,硝化—反硝化作用可能是氮肥氮素损失的主要途径。

2. 在幼穗分化前表施时,碳铵和尿素的氮素损失分别为34%和21%,显著低于作基肥混施者。

3. 在田面无水层下撒施碳铵,然后与土耙混后再灌水,比在田面有水层下撒施后耙混的处理,氨的挥发量略有减少,但未能减少氮素的总损失。

参 考 文 献

- [1] 朱兆良,我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展。土壤, 17:2—9, 1985。
- [2] 陈荣业、朱兆良,氮肥去向的研究 I. 稻田土壤中氮肥的去向。土壤学报, 19:122—130, 1982。
- [3] Fillery, I.R.P., Simpson, J. R. and De Datta, S.K., Soil Sci. Soc. Amer. J., 48: 914—920, 1984。
- [4] Mikkelsen, D.S. and De Datta, S.K., Ammonia volatilization from wetland rice soils. pp. 135—156, in "Nitrogen and Rice", IRRI, 1979。
- [5] Denmead, O. T., Simpson, J.R. and Freney, J.R., Soil Sci. Soc. Amer. J., 41: 1001—1004, 1977。

(下转第266页)

全磷0.25~0.35%，全钾0.2~0.3%^①。从实验结果看出，垃圾经高温堆沤后，不仅将大部分病原菌、细菌杀死，还因垃圾处于好气条件下腐解，从而避免产生有恶臭的还原性终产物对大气的污染。垃圾处理场可由全市统一建立，各区、乡、村也可就地设置、就地处理，就地使用，减少重复运输。

4. 垃圾肥应与氮素肥料配合使用 垃圾肥的碳氮比值一般较高，磷、钾素含量也相对较高，施入农田对作物生长不利^[3]。因此，除在垃圾堆沤过程中要加入一些水肥(粪便)或其他氮素化肥外，施用时应还配合适量的氮素肥料。

5. 适当施用垃圾肥，充分发挥改土肥田作用 土壤接纳垃圾肥有一定的容量，超过这一容量，土壤肥力就会下降。据调查，一般含有垃圾的土层厚度以25~30厘米为宜，即每亩可施20~25万斤垃圾肥，一般每年每亩可施一万斤左右，如果原来土壤质地属轻、沙壤的，或砾石含量较多者，施用量应相应减少。若土质过于粘重，可在头几年多施些，加快改土进程。

6. 注意垃圾质量，防止土壤遭受污染 从表5看出，施用垃圾肥后土体中重金属含量有增加趋势，估计今后垃圾成分会更复杂，为使农业环境免受破坏，必须注意施用的垃圾肥、施垃圾肥的农田土壤及其农作物中毒物含量的变化，发现问题及时处理。

因垃圾肥中混有玻璃、陶瓷及金属碎屑等，目前仅局限于旱作农田施用，今后应在水稻及其他水生作物上进行垃圾肥的试验工作，逐渐扩大施用范围。

参 考 文 献

- [1] 陈秋华译，意大利的废物处理。环境科学情报，第4期，第33页，1982。
- [2] 刘曙光译，日益提高的生态学知识决定了废弃物的管理。环境科学情报，第4期，第38页，1982。
- [3] 高桥和可著(杨国治译)，城市废物的特性和农业利用。环境质量，第3期，68~69页，1980。

① 广州市卫生防疫站，关于垃圾无害化处理问题，油印本第5页，1957年。

(上接第229页)

- [6] Freney, J. R., Leuning, R., Simpson, J. R., Denmead, O. T. and Muirhead, W. A., Soil Sci. Soc. Amer. J., 49: (in press), 1985.
- [7] 朱兆良、陈荣业、徐永福、徐银华、张绍林：苏州地区平田黄泥土氮素供应过程的特点及其与氮肥施用的关系。土壤学报，16:218—233，1979。
- [8] 朱兆良、蔡贵信、俞金洲：稻田中¹⁵N标记硫酸铵的氮素平衡的研究初报。科学通报，22: 503，1977。
- [9] Cao, Z. H., De Datta, S. K., and Fillery, I. R. P., Soil Sci. Soc. Amer. J., 48: 196—203, 1984.
- [10] Mikkelsen, D. S., De Datta, S. K. and Obceemca, W. N., Soil Sci. Soc. Amer. J., 42:725—730, 1978.
- [11] 史陶君、陈万才、曹志洪：碳酸氢铵粒肥深施的经济效益分析。土壤，16: 180—182，1984。