

黄淮海地区石灰性稻田土壤上不同混施 方法下氮肥的去向和增产效果*

朱兆良 张绍林 陈德立 蔡贵信 徐银华

(中国科学院南京土壤研究所)

J. R. Simpson, J. R. Freney

(Division of Plant Industry, CSIRO, Australia)

A. V. Jackson

(Division of Environmental Mechanics, CSIRO, Australia)

迄今,关于黄淮海地区石灰性稻田土壤上氮肥去向的研究极少。仅见的一个田间微区试验是有关氮肥表施作基肥的^[1],而在生产中却多采用混施的方法。此外,盆栽试验表明,无水层混施能减少氮素损失^[2]。因此,有必要在本区稻田土壤上,采用田间微区的方法,进一步明确氮肥混施作基肥时氮素的去向,以及无水层混施在降低氮素损失、提高氮肥增产效果中的作用。

一、试验方法

试验在河南省封丘县周口村的石灰性稻田土壤上进行。供试土壤为砂壤土, pH8.81,全氮0.049%。前茬小麦。试验处理如下:

1. 对照(CK): 不施氮肥;
2. 碳铵有水层混施(ABC-W): 在田面有水层(深4—5厘米)下撒施,用耙使之与土混合;
3. 碳铵无水层混施、随即上水(ABC-S-I): 在田面基本无水层下撒施,耙混后随即上水;
4. 碳铵无水层混施、隔夜上水(ABC-S-D): 施用方法同处理3,施后第2天早晨(施肥后约20小时)上水;
5. 尿素有水层混施(U-W): 方法同处理2;
6. 尿素无水层混施、随即上水(U-S-I): 方法同处理3;
7. 尿素无水层混施、隔夜上水(U-S-D): 方法同处理4;
8. 硫铵有水层混施(AS-W): 方法同处理2。

1986年6月20日上午按处理要求施用氮肥,用量为90公斤N/公顷。各处理以75公斤 P_2O_5 /公顷为底。小区面积 5×5.34 平方米,重复4次,随机区组排列。施肥结束后即移栽水稻,品种中粳6811,株行距13厘米 \times 17厘米。试验期间保持水层,不追肥。10月4日收获。

每区中设一固定支杆以便采取水样。测定项目及分析方法见另文^[3]。

观测氮素去向的微区用直径37厘米、高50厘米的无底塑料筒构成,埋入土中40厘米,露出土面10厘米。每个小区中埋筒一个,处理与小区试验相同。所用碳铵、尿素和硫铵的 ^{15}N 丰度分别为6.04%、6.27%和5.96%。与小区试验在同一天完成施肥和栽秧,每筒6穴,每

*本工作得到澳大利亚国际农业研究中心(ACIAR)的部分资助,谨致谢意。

穴5株。于8月12—13日(施肥后52—53天),采取植株(包括根)和0—15厘米、15—30厘米的土样,部分微区加采30—45厘米的土样,供全氮及 ^{15}N 丰度测定用。 ^{15}N 丰度由土壤质谱组测定。

二、结果和讨论

(一)氮肥的氮素去向

如表1所示,本次试验中各处理的氮素损失都是十分严重的。在有水层混施下,碳铵、尿素和硫酸铵的损失高达64%以上,三种氮肥之间没有显著的差异,这与前报^[1]关于石灰性土壤上氮肥表施作水稻基肥时损失严重的程度十分相近。此外,三种氮肥的利用率都很低,相互之

表1 ^{15}N 标记氮肥的去向(田间微区,占施入N%)

处 理	水稻吸收	土 壤 中 残 留				损 失
		0~15cm	15~30cm	30~45cm	总 合	
ABC-W	13.8 c**	12.6	0.37	0.34*	13.3	72.9a
ABC-S-I	28.2 a	17.9	0.57	未测	18.5	53.3d
ABC-S-D	27.0 abc	15.1	0.71	0.65	16.4	56.6cd
U-W	18.2 c	13.4	0.89	未测	14.3	67.5ab
U-S-I	26.5 adcd	16.2	0.52	0.24	16.9	56.6cd
U-S-D	28.1 ab	17.3	1.2	0.43	19.0	52.9d
AS-W	20.7 cde	14.6	0.27	未测	14.9	64.4abc

* 土壤中肥料氮残留的一组结果,经F测验不显著。

** 具相同英文字母的数据之间,其差异未达到5%显著水准(DMRT)测验。

间也没有显著的差异。土壤中残留氮只在13—15%之间,这可能与供试土壤的有机质含量很低、质地又较轻粗有关。应当指出,即使是在这种透水性强的稻田土壤上,土壤中的残留氮,约有90%以上仍然集中在0—15厘米的土层中,这进一步表明,施入稻田的氮肥,在当季的淋洗损失是很少的^[4],因此,气态损失是氮肥损失的最根本的途径。

表2和表3结果表明,无水层混施,无论是随即上水或是隔夜上水,施肥后第2天存留于田面水中的氮量大多低于有水层混施,这有利于减少氮素损失^[2]、提高氮肥的利用率。如表1,无水层混施比有水层混施的处理,其氮素损失约减少11—20%,利用率提高8—14%,都达到了5%显著水准。但是,在无水层混施下,施肥后随即上水或隔夜上水的处理之间,则没有统计上的差异。

在本试验中,由于土壤和灌溉水的pH都很高,从而将削弱因碳铵与硫酸铵的酸碱度不同对氮挥发所可能带来的差异。在这种情况下,铵态氮肥氮挥发量的相对多少,将主要决定于施肥后田面水中存留氮量的多寡。因此,无水层混施,由于能减少施肥后存留于田面水中的氮量,从而有利于减少氮挥发和总损失^[2]。至于尿素,由于它不易被土壤吸持,在相同的混施方法下,存留于田面水中的总氮量(包括尿素和铵及氨态氮)就显著高于铵态氮肥的处理,但其中的铵及氨态氮的比例却很低。只有通过尿素的水解,氨的挥发才能持续发生。因此,施肥后尿素处理田面水中存留的总氮量虽高,其氮挥发量却并不高于碳铵^[3]和硫酸铵的处理。但是,若同为尿素,则田面水中存留的总氮量高的处理,其氮素损失也就多。综上所述,力求减少施肥后存留于田面水中的氮量,应当作为稻田土壤上合理施用氮肥的一项原则^[4]。在这一原

表 2 不同施肥方法下田面水的 pH 和含氮量 (mg/l)

(6月20日施肥和移栽)

观测日期 观测项目	处 理							
	CK	ABC-W	ABC-S-I	ABC-S-D	U-W	U-S-I	U-S-D	AS-W
6月21日 pH, 范围	8.47-9.72	8.43-8.79	8.43-8.92	8.47-8.68	8.54-9.07	8.57-9.53	8.56-9.58	8.12-8.57
(NH ₄ ⁺ + NH ₃)-N范围	0.09-1.9	26-58	10-30	17-20	3.2-8.4	1.8-5.5	1.4-5.2	32-51
平均值	1.2	41	22	18	5.2	3.5	3.3	41
尿素-N					76	80	90	
6月22日 pH, 范围	8.91-9.63	8.80-9.48	8.83-9.55	8.80-9.66	9.07-9.88	9.05-10.10	8.97-9.90	8.69-9.34
(NH ₄ ⁺ + NH ₃)-N范围	0.06-0.20	2.3-14.9	2.0-14.4	1.3-5.3	1.4-6.6	0.94-4.76	1.4-4.6	6.2-22.6
平均值	0.13	9.0	6.9	5.1	3.1	2.3	2.4	14
尿素-N					72	49	44	
6月23日 pH, 范围	8.87-9.29	9.09-10.51	9.16-9.85	9.11-10.28	9.15-10.28	8.98-10.00	8.98-9.99	8.58-9.20
(NH ₄ ⁺ + NH ₃)-N范围	0.02-0.58	0.67-2.63	1.4-4.3	0.40-3.35	3.2-6.4	2.8-7.8	3.1-7.2	5.6-14.7
平均值	0.17	1.4	2.6	1.4	4.3	4.4	4.5	9.0
尿素-N					41	27	30	
6月24日 pH, 范围	8.23-9.19	8.90-10.33	8.44-9.96	8.58-10.20	8.85-9.97	8.30-9.92	8.49-9.84	8.42-8.81
(NH ₄ ⁺ + NH ₃)-N范围	0.05-0.12	0.05-0.65	0.24-0.97	0.30-0.81	2.7-3.9	1.0-3.0	2.0-2.7	0.03-0.09
平均值	0.07	0.28	0.47	0.49	3.3	1.8	2.4	0.05
尿素-N					28	11	14	
6月25日 pH, 范围	8.42-8.81	8.73-9.93	8.41-9.50	8.48-9.54	8.54-9.21	8.30-9.70	8.23-9.86	8.17-9.33
(NH ₄ ⁺ + NH ₃)-N范围	0.03-0.09	0.06-4.0	0.20-0.42	0.36-0.73	2.4-4.1	0.22-1.81	0.79-3.04	6.6-3.3
平均值	0.05	0.73	0.29	0.51	3.4	0.97	2.1	2.7
尿素-N					17	2.8	2.2	
6月26日 pH, 范围	8.24-8.94	8.46-9.47	8.28-9.41	8.24-9.28	8.30-9.13	8.25-8.98	8.16-8.67	8.11-9.18
(NH ₄ ⁺ + NH ₃)-N范围	0.06-0.17	0.10-0.37	0.31-0.56	0.45-0.88	3.35-4.48	0.36-0.92	1.28-1.61	1.7-2.3
平均值	0.08	0.18	0.44	0.59	3.90	0.59	1.5	2.0
尿素-N					4.1	0	0	
6月27日 pH, 范围	8.18-9.11	8.10-9.46	8.07-9.24	8.10-9.18	8.05-8.99	8.06-8.83	8.02-8.57	7.95-9.37
(NH ₄ ⁺ + NH ₃)-N范围	0.06-0.10	0.16-0.54	0.32-0.94	0.28-1.33	3.4-6.4	0.34-1.38	1.36-2.8	0.86-2.89
平均值	0.08	0.36	0.61	0.88	5.4	0.94	2.4	2.1
尿素-N					1.1	0	0	
6月28日 pH, 范围					8.04-9.39	8.06-9.11	8.00-9.24	8.20-8.76
(NH ₄ ⁺ + NH ₃)-N范围					2.5-5.8	0.50-1.05	0.89-2.74	0.23-0.82
平均值					3.7	0.74	1.8	0.54
尿素-N					0	0	0	

表 3 田面水中存留的氮量
(施肥后20小时取样)

处 理	水层深度 cm	田面水中氮 ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$)-N + 尿素-N	
		mg/l	占施入N的%
ABC-W	3.9	58.4	25.3
ABC-S-I	4.2	30.2	14.1
ABC-S-D	2.7	18.2	5.5
U-W	4.7	81.2	42.4
U-S-I	4.3	85.2	40.7
U-S-D	2.8	95.1	29.6
AS-W	3.9	37.6	16.3

表 4 水稻对土壤氮的吸收
(^{15}N 标记氮肥的田间微区试验)

处 理	水稻吸收土壤N	
	克/微区	占总吸N量的%
CK	0.502*	100
ABC-W	0.450	78.3 a
ABC-S-I	0.436	63.0 c
ABC-S-D	0.490	67.9 bc
U-W	0.509	73.1 ab
U-S-I	0.459	63.1 c
U-S-D	0.500	64.4 c
AS-W	0.465	69.6 bc

* 相当于 46.7 公斤 N/公顷。不同处理中水稻吸收土壤氮量的 F 测验不显著。7 个施肥处理的平均值为 44.0 公斤 N/公顷, 标准差 2.6 公斤 N/公顷。

则指导下, 可以因地制宜地发展出相应的施肥技术和方法。在当前, 粒肥深施是其中最有效的一种方法^[5]。它不仅能有效地减少氮挥发, 并且还能显著地降低反硝化损失。

(二) 土壤供氮、氮肥利用率及水稻产量

在扣除秧苗带入的氮量后, 微区中以水稻全株吸氮量计算时, 土壤的供氮量只有 46.7 公斤/公顷(表 4), 以小区试验中水稻地上部分吸氮量计算时, 更低至 38.0 公斤/公顷。但是, 以 0—20 厘米土层计的供氮率, 却分别达到 4.2% 和 3.5%, 明显地高于以往有关土壤对单季稻的供氮率的统计结果^[6]。在太湖地区土壤供氮能力的研究中曾经指出^[7], 石灰性排水好的水稻土, 其供氮率高于非石灰性排水好的和囊水的水稻土。考虑到黄淮海地区的稻田中, 有相当一部分属于本试验的土壤类型, 因此, 进一步研究其供氮率较高的原因, 对于这一类型水稻土供氮能力的保持和提高是有积极意义的。

表 5 列出了示踪法和差减法计得的氮素利用率的如果。与以往的结果不同^①, 两种方法计得的利用率之间没有显著的差异。这可能与供试土壤的含氮低而质地又较轻粗、化肥氮与土壤氮之间的生物交换作用较弱有关。氮肥对土壤氮矿化的激发作用很小, 如

表 5 水稻产量和氮肥利用率

处 理	稻谷产量	增产		氮肥利用率* (%)	
	吨/公顷	公斤/公斤施入 N	示踪法(A)	差减法(B)	差值(A-B)
CK	3.10 c	—	—	—	—
ABC-W	4.04 abc	10.4	13.8 e	13.1	+0.7
ABC-S-I	3.66 bcde	6.2	28.2 a	20.9	+7.3
ABC-S-D	3.50 bcde	4.4	27.0 abc	27.8	-0.8
U-W	4.32 a	13.6	18.2 c	25.2	-7.0
U-S-I	3.66 bcde	6.2	26.5 abcd	22.0	+4.5
U-S-D	3.79 abcd	7.7	28.1 ab	27.8	+0.3
AS-W	4.07 ab	10.8	20.7 cde	16.9	+3.8
X ± SD		8.5 ± 3.2	23.2 ± 5.7	22.0 ± 5.5	+1.2

* 系微区试验结果, 以全株吸氮量进行计算。

① 朱兆良: 氮肥适宜用量的估算和提高氮肥利用率问题。安徽省土壤学会、安徽省测土施肥协作组编, 科学用肥学术报告会文选, 40—49 页, 1984。

表4所示,施氮处理中水稻吸收土壤氮量平均为 44.0 ± 2.6 公斤/公顷($n=7$),它与无氮区水稻吸收的土壤氮量(46.7公斤/公顷)没有什么差异。这表明,在这种情况下,示踪法的氮肥利用率,可以与差减法的利用率一样,用来进行氮肥适宜用量的估算。再者,既然氮肥对土壤氮的矿化没有正激发作用,则氮肥在土壤中的残留就可能意味着增加土壤氮素的贮量。如果这一推论基本正确,则氮肥在提高本区稻田土壤的氮素肥力中除了间接作用外,还可能具有直接的作用,这与具有正激发作用的土壤上的情况是不同的。在后一种土壤上,氮肥对提高土壤氮素肥力中的作用基本上是间接的,即因施用氮肥而增加了残留在土壤中的作物残茬量,以及收获物的生物量,从而使可能回田的有机物质而数量增加,在此基础上,土壤氮素肥力才可能提高。

本试验中氮肥的利用率很低,7个施氮处理平均,示踪法的结果为 $23.2 \pm 5.7\%$,差减法的结果为 $22.0 \pm 5.5\%$ ($\bar{X} \pm SD$)。因此,每施一公斤氮只增产稻谷 8.5 ± 3.2 公斤。看来,减少氮肥施入稻田后的损失,提高其利用率和增产效果是有很大大潜力的。

表5结果表明,各施氮处理之间的产量大多没有显著的差异。无水层混施一般并不比有水层混施的产量高,这与氮素损失的结果不一致。因此,无水层混施的效果^[8, 9]仍待明确。

三、小 结

1. 供试土壤对水稻的供氮量虽低,但供氮率却高。氮肥对土壤氮矿化的激发作用不明显,因此,示踪法与差减法的氮肥利用率之间没有显著的差异,二者的平均值都只有22—23%,而且,在这种情况下,氮肥在土壤中的残留可能意味着土壤氮素的积累,其量占施入氮量的13—19%。

2. 在有水层混施作水稻基肥时,碳铵、尿素和硫酸铵的氮素损失高达64—73%。在田面基本无水层下混施使氮素损失减少11—20%,氮肥利用率提高8—14%,但未反映在增产效果上。

3. 力求减少施肥后存留于田面水中的氮量,是稻田合理施用氮肥的一项原则。

参 考 文 献

- [1] 陈荣业、朱兆良, 氮肥去向的研究 1. 稻田土壤中氮肥的去向。土壤学报, 19(2):122—130, 1982。
- [2] 朱兆良、张绍林等, 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, 19(1): 5—12, 1987。
- [3] 朱兆良等, 石灰性稻田土壤上化肥氮损失的研究。土壤学报(待刊)。
- [4] Zhu Zhaoliang, Efficiency of urea in crop production of China. Paper presented at the International Conference on Urea Technology and Utilization. March 16—19, Kuala Lumpur, Malaysia. 1987.
- [5] 曹志洪、S. K. 迪达塔, 深施氮肥(^{15}N 标记尿素)对稻田水层化学性质的影响及水稻对深施氮肥的回收率。土壤学报, 20(3):253—261, 1983。
- [6] 朱兆良, 我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展。土壤, 17(1): 2—9, 1985。
- [7] 朱兆良、蔡贵信等, 太湖地区水稻土的氮素矿化及土壤供氮量的预测。土壤学报, 21(1):29—36。
- [8] De Datta, S. K. Fert. Res. 9:171—186, 1986。
- [9] 蔡贵信、朱兆良等, 水稻田中碳铵和尿素的氮素损失的研究。土壤, 17(5):225—229, 1985。