

# 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 陈德文 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<sup>[1]</sup>,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<sup>[2]</sup>。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<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/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,品种中梗6811,株行距13厘米×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<sup>[3]</sup>。

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<sup>15</sup>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  $^{15}\text{N}$  丰度测定用。 $^{15}\text{N}$  丰度由土壤所质谱组测定。

## 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<sup>[1]</sup>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  $^{15}\text{N}$  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 | 55.6cd  |
| U-W     | 18.2 e    | 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<sup>[4]</sup>, 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<sup>[2]</sup>、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铵的酸碱度不同对氨挥发所可能带来的差异。在这种情况下, 铵态氮肥氨挥发量的相对多少, 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, 从而有利于减少氨挥发和总损失<sup>[2]</sup>。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, 其氨挥发量却并不高于碳铵<sup>[3]</sup> 和硫铵的处理。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<sup>[4]</sup>。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        | A B C-W    | ABC-S-I   | ABC-S-D    | U-W        | U-S-I      | U-S-D     | A S-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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>3</sub> ) - 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<br>尿素-N  | 1.2       | 41         | 22        | 18         | 5.2        | 3.5        | 3.3       | 41        |
| 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>3</sub> ) - 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<br>尿素-N  | 0.13      | 9.0        | 6.9       | 5.1        | 3.1        | 2.3        | 2.4       | 14        |
| 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>3</sub> ) - 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<br>尿素-N  | 0.17      | 1.4        | 2.6       | 1.4        | 4.3        | 4.4        | 4.5       | 9.0       |
| 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>3</sub> ) - 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<br>尿素-N  | 0.07      | 0.28       | 0.47      | 0.49       | 3.3        | 1.8        | 2.4       | 0.05      |
| 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>3</sub> ) - N 范围 | 0.03-0.09 | 0.06-4.00  | 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<br>尿素-N  | 0.05      | 0.73       | 0.29      | 0.51       | 3.4        | 0.97       | 2.1       | 2.7       |
| 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>3</sub> ) - 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<br>尿素-N  | 0.08      | 0.18       | 0.44      | 0.59       | 3.90       | 0.59       | 1.5       | 2.0       |
| 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>3</sub> ) - 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<br>尿素-N  | 0.08      | 0.36       | 0.61      | 0.88       | 5.4        | 0.94       | 2.4       | 2.1       |
| 6月28日 | pH, 范围   |           |            |           |            | 8.04-9.39  | 8.06-9.11  | 8.00-9.24 | 8.20-8.76 |
|       | (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>3</sub> ) - N 范围 |           |            |           |            | 2.5-5.8    | 0.50-1.05  | 0.89-2.74 | 0.23-0.82 |
|       | 平均值<br>尿素-N  |           |            |           |            | 3.7        | 0.74       | 1.8       | 0.54      |

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<br>cm | 田面水中氮<br>( $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ )-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  
( $^{15}\text{N}$ 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。

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 e    | —             | —              | —              | —          | —          |
| 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 $\pm$ SD |           | 8.5 $\pm$ 3.2 | 23.2 $\pm$ 5.7 | 22.0 $\pm$ 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。

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<sup>[5]</sup>。它不仅能有效地减少氨挥发, 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<sup>[6]</sup>。在太湖地区土壤供氮能力的研究中曾经指出<sup>[7]</sup>, 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壤土的水稻土。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4所示,施氮处理中水稻吸收土壤氮量平均为 $44.0 \pm 2.6$ 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渣量,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 $8.5 \pm 3.2$ 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<sup>[8, 9]</sup>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( $^{15}\text{N}$ 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。