

# 土壤氮素供应状况的研究

## II. 硫酸铵在植稻土壤中的转化及其对 土壤氮素供应状况的影响

朱兆良 汪祖强 徐银华

(中国科学院土壤研究所)

对陈永康水稻丰产经验的研究表明,在中性水稻土上调节水稻的土壤氮素营养状况是达到丰产的关键。这就是根据土壤的氮素供应特点、因土制宜地运用肥水措施,调节水稻生长发育过程中的土壤氮素供应状况,以满足水稻器官协调生长的共同要求<sup>[1,2]</sup>。因此,必须研究土壤理化生物学性质对土壤氮素供应状况的影响,以及肥水措施对氮素供应状况的影响与土壤性质的关系等,才能有助于阐明陈永康因土制宜运用肥水措施的原则。在前报中<sup>[4]</sup>探讨了植稻土壤氮素供应状况的指标,本文是研究江苏南部几种水稻土在植稻条件下的氮素供应状况,以及表施硫酸铵后,铵在土壤中的转化及其对氮素供应状况的影响;与此同时,进一步探索植稻土壤的氮素供应状况的指标。

土壤的氮素供应状况是土壤中氮素转化的综合反映。土壤中氮素转化的各个途径虽然都分别进行了大量的研究,但大多是各个途径分开研究,而且多限于旱作土壤条件。关于土壤中矿质氮的变化规律方面, Jansson<sup>[16]</sup>、Munson 和 Pesek<sup>[18]</sup>、Nommik<sup>[17]</sup> 以及 Allison 和 Klein<sup>[7]</sup> 等人都研究了在好气培养下,土壤中矿质氮的生物固定及生物固定氮的重新矿化,以及由净固定转入净矿化的转折点,但是土壤性质的影响则未予研究。Winsor 和 Pollard<sup>[26]</sup> 研究了加入氮肥的最大固定量和转折点的迟早与土壤性质的关系,但却是在加入蔗糖条件下进行的。不仅如此,这些研究都是用不种植物的培养法,而且在作物生长条件下还可能产生根际效应问题<sup>[15,17]</sup>。

土壤中存在着有机和无机形态的氮,对表层土壤来说,有机态氮无疑是最主要的。关于土壤中有机态氮的形态和状态方面都累积了一定的文献。在有机-矿质复合体方面, Тюлин<sup>[23]</sup>、陈家坊和楊国治<sup>[3]</sup>研究了复合体中氮的含量,原田<sup>[6]</sup>研究了 G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> 组复合体中氮素的有效性;在有机态氮的形态方面, Rendig<sup>[20]</sup>、Stevenson<sup>[21]</sup>、Cornfield<sup>[14]</sup> 等研究了生长几年作物或经长期轮作和施肥以后 6N HCl 水解的有机态氮的变化,认为非基性氨基酸(或  $\alpha$ -氨基酸)和酰胺态氮易于分解,而施肥或有豆科作物参加的轮作土壤中,  $\alpha$ -氨基酸比例增高。但山根<sup>[5]</sup>研究了不同浓度 HCl 水解氮中,不同形态的有机氮的有效性,却认为  $\alpha$ -氨基酸和酰胺态氮是难以矿化的。而 Barnes<sup>[8]</sup> 指出, 2% HCl 溶性氮在长时间培养过程中的变化很小。这些结果一方面还不能满意地阐明有机态氮的形态基础,另一方面也没有联系到氮肥在植物生长过程中的转化。Bhuiyan<sup>[9]</sup> 研究了稻田水解氮的变化,但是没有得出什么规律性。Cheng<sup>[13]</sup>、Stewart<sup>[23]</sup> 指出,施入土壤中的化肥氮,绝大部分转化成有机态氮,其中又以氨基酸态氮为主,但是这些转化对当季作物的氮素营养状况

的影响仍缺乏研究。因此,为了阐明植稻条件下的土壤氮素供应状况,我们在盆栽条件下研究了三种土壤中肥料氮的固定量和其后的矿化量,及其与有机态氮形态的关系,并企图将这些结果与水稻的土壤氮素营养状况联系起来。

## 一、試驗材料和方法

### (一) 盆栽試驗

試驗在南京进行,每盆装风干土 1.2 公斤,无基肥,盆底不渗漏。供試土壤采自江苏南部,土壤反应中性,其基本性质如表 1。品种老来青,5 月 2 日催芽,7 日播种,6 月 1 日淹水插秧,6 月 8 日返青,开始采样并进行施肥处理,每盆表施硫酸铵 1 克。在水稻生长过程中曾用  $\text{CuSO}_4$  溶液除莠两次。采样时,每个处理取二盆,将新鲜土壤过 0.5 毫米筛后,即进行化学分析,将筛上的根挑出,并与地上部分分别烘干称重,留作全氮测定。

### (二) 化学分析

1. 土壤植物全氮分析采用包括  $\text{NO}_3\text{-N}$  的克氏法<sup>[12]</sup>, 消煮时间改为两小时,重复间差异在 3% 左右。

2. 土壤有机碳采用通用的 Гюрин 法,重复间差异在 5% 以内。

3. 土壤有机态氮的测定分二级进行。一级采用蛋白质水解条件,即 6N HCl, 土:水为 1:5, 在沸水浴中水解 12 小时<sup>[10]</sup>;另一级用半纤维水解的浓度,即 2% HCl(0.56N), 在沸水浴中水解 6 小时<sup>[5]</sup>。

测定了 6N 和 0.56N HCl 水解液的全氮(简称水解氮)、pH11.4 缓冲液蒸馏性氮<sup>[24]</sup> 及  $\text{NH}_4\text{-N}$ <sup>[11]</sup>。

6N HCl 水解中,水解氮减去 pH 11.4 蒸馏性氮后即为“碱稳定性氮”,大体上代表氨基酸态氮总量<sup>[22]</sup>, pH 11.4 蒸馏性氮减去土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  后即为“碱不稳定性氮”,包括了“氨基醌氮”和“酰胺氮”。0.56N HCl 水解液中也区分了这些形态的氮。

水解氮的测定只取同一处理的一个重复进行。测定水解氮及各级形态氮的重复差异约为 5%。

4. 土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  的测定采用扩散法<sup>[11]</sup>, 提取时土:水为 1:4 与 1:2 所得结果的差异都在误差范围之内。化学测定的平行重复差异在 5% 以内。

所有化学测定都采用二个重复。分析结果都以烘干土为基数表示之。

## 二、試驗結果

### (一) 土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 水稻吸收氮量的变化

土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  和 水稻吸收氮量分别列于表 2 及表 3。从表 2 来看,各处理的  $\text{NH}_4\text{-N}$  量都是逐渐降低了。在不施肥时,黄泥土的  $\text{NH}_4\text{-N}$  始终最高,青泥土其次,板浆白最低。施肥后黄泥土仍最高,但板浆白从 6 月 23 日至 7 月 8 日似略高于青泥土,这与不施肥处理的情况不同。结合表 2 及表 3 来看,随着各处理  $\text{NH}_4\text{-N}$  逐渐降低,水稻吸收累积氮量逐渐增高,各处理间水稻吸收累积氮量的顺序与土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量基本一致。

### (二) 土壤氮素总供应量的变化

不同采样时间的土壤氮素总供应量,是表 1 的  $\text{NH}_4\text{-N}$  与表 2 的水稻吸收累积氮量

表 1 供試土壤基本性質

| 土 壤           | 地 点    | 母 质    | 采样时田间情况 | 全氮(%)  | 有机碳(%) | C/N  | 粘粒%*<br><0.001毫米 | 物理粘粒%*<br><0.01毫米 |
|---------------|--------|--------|---------|--------|--------|------|------------------|-------------------|
| 黄泥土(湖积潜育型水稻土) | 吴县农科所  | 冲积-湖积物 | 紫云英生长良好 | 0.1690 | 1.94   | 11.5 | 26.1             | 61.1              |
| 青泥土(下蜀潜育型水稻土) | 江宁試驗場  | 黄土性物质  | 休闲地     | 0.1193 | 1.24   | 10.4 | 29.3             | 59.0              |
| 板浆白(潜育型水稻土)   | 溧阳上兴公社 | 紅棕色风化壳 | 紫云英生长极差 | 0.0856 | 0.829  | 9.7  | 19.5             | 46.8              |

\* 徐琪同志提供資料。

表 2 土壤 NH<sub>4</sub>-N 含量的变化 (毫克N/100克烘干土)

| 代 号   | 处 理                         | 采 样 时 間 |        |       |       |       |       |       |      |        |      |  |  |
|-------|-----------------------------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|------|--|--|
|       |                             | 8/VI    |        | 13/VI |       | 23/VI |       | 8/VII |      | 23/VII |      |  |  |
|       | 試驗前土壤<br>NH <sub>4</sub> -N | 試驗重復    | 平 均    | 試驗重復  | 平 均   | 試驗重復  | 平 均   | 試驗重復  | 平 均  | 試驗重復   | 平 均  |  |  |
| 黄 不 施 | 黄泥土不施肥                      | 6.77    | 6.41   | 6.14  | 6.25  | 3.45  | 4.28  | 1.18  | 1.15 | 1.00   | 0.97 |  |  |
| 黄 施   | 黄泥土表施硫酸铵                    | 6.05    | 24.89* | 6.36  | 21.21 | 5.10  | 11.40 | 1.11  | 4.38 | 0.93   | 1.17 |  |  |
| 青 不 施 | 青泥土不施肥                      | 2.98    | 2.87   | 2.59  | 2.64  | 0.80  | 0.84  | 0.74  | 0.68 | 0.58   | 0.62 |  |  |
| 青 施   | 青泥土表施硫酸铵                    | 2.75    | 21.45* | 2.68  | 16.39 | 0.87  | 9.54  | 0.62  | 2.42 | 0.65   | 0.88 |  |  |
| 板 不 施 | 板浆白不施肥                      | 2.10    | 2.01   | 1.53  | 1.50  | —     | 8.70  | —     | —    | 0.36   | 0.39 |  |  |
| 板 施   | 板浆白表施硫酸铵                    | 1.92    | 20.29* | 1.46  | 14.61 | 9.47  | 9.84  | 3.09  | 3.31 | 0.42   | 0.81 |  |  |
| 施肥的增量 | 施肥的增量                       |         |        | 14.20 | 13.11 | 10.20 |       | 3.52  |      | 0.83   | 0.42 |  |  |

\* 不施肥处理的 NH<sub>4</sub>-N 量+施入 NH<sub>4</sub>-N 量。

表 3 水稻從土壤吸收氮量\* (毫克 N/100 克烘干土)

| 代 号   | 13/VI        |       | 23/VI        |       | 8/VII          |       | 23/VII         |       |
|-------|--------------|-------|--------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|       | 試驗重复         | 平均    | 試驗重复         | 平均    | 試驗重复           | 平均    | 試驗重复           | 平均    |
| 黄 不 施 | 1.84<br>1.58 | 1.71  | 5.60<br>3.77 | 4.69  | 9.11<br>8.24   | 8.68  | 11.55<br>13.01 | 12.28 |
| 黄 施   | 1.02<br>1.47 | 1.25  | 4.78<br>3.93 | 4.36  | 16.29<br>17.11 | 16.70 | 22.45<br>21.50 | 21.98 |
| 施肥的增量 |              | -0.46 |              | -0.33 |                | 8.02  |                | 9.70  |
| 青 不 施 | 1.23<br>0.96 | 1.10  | 2.72<br>2.85 | 2.79  | 4.83<br>4.69   | 4.76  | 5.77<br>6.07   | 5.92  |
| 青 施   | 0.95<br>0.99 | 0.97  | 3.18<br>3.82 | 3.50  | 13.65<br>11.39 | 12.52 | 18.05<br>—     | 18.05 |
| 施肥的增量 |              | -0.13 |              | 0.71  |                | 7.76  |                | 12.13 |
| 板 不 施 | 0.81<br>0.97 | 0.89  |              |       |                |       | 5.23<br>4.82   | 5.03  |
| 板 施   | 0.42<br>0.93 | 0.68  | 4.42<br>3.03 | 3.73  | 13.05<br>12.79 | 12.92 | 18.25<br>18.17 | 18.21 |
| 施肥的增量 |              | -0.21 |              |       |                |       |                | 13.18 |

\* 水稻根和地上部分氮素累积总量——8/VI 返青时各处理的秧苗的平均氮素累积量。

之和,茲將結果繪于图 1。在不施肥时,总供应量不断增加,即土壤始終处于氮素淨矿化过程。淨矿化量和速率(表 4)大致与土壤的全氮含量成正相关。例如,黄泥土、青泥土、板浆白在 7 月 23 日时的氮素总供应量分别为 13.25、6.54 及 5.42 毫克/百克土,其比例依次

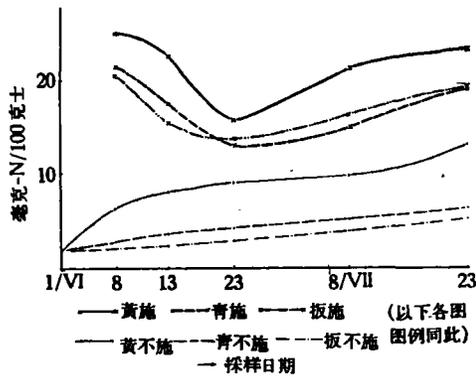


图 1 土壤氮素供应总量的变化

依次为 2.0:1:0.8,全氮的比例依次为 1.4:1:0.7。但由此亦可看出,黄泥土总供应量占全氮的比例显著大于其他两种土壤,这可能是由于黄泥土田间取土时紫云英生长良好,所含易矿化的有机态氮的比例较高。

在施肥处理中,施肥后半月內,三种土壤的氮素总供应量都不断降低,其量分别为 9.13 (黄施)、8.41 (青施)、6.69 (板施)毫克,降低量的比例依次为 1.1:1:0.8;而至半月后总供应量都轉而不断增加,至 7 月 23 日,三种土壤依次增加 7.39、5.89、5.43 毫克,其比例为

1.3:1:0.9。即大体上降低量愈大者,以后的增加量亦愈大。結合下段关于有机氮形态的变化来看,总供应量降低的原因主要应为生物固定作用的结果,当然部分地也可能由化学固定和脱氮作用所致。从这些结果来看,施肥后初期,土壤处于氮素淨固定阶段,达到最大固定量后轉入淨矿化过程,淨固定量和速率、淨矿化量和速率大体上与土壤的有机质(三个土的比例为 1.6:1:0.7)和全氮含量成正相关。但仔細比較全氮、有机质与淨固定量的比例,可以看出,在淨固定阶段黄泥土的淨固定量与其有机碳或全氮的比值偏低,这可能是由于黄泥土有机氮的矿化作用较强所致。

表 4 两次采样期间土壤氮素总供应量的增减量和速率  
(毫克 N/100 克烘干土, 毫克 N/100 克烘干土/天)

| 代 号     | 8—13/VI   |       | 13—23/VI   |        | 23/VI—8/VII |       | 8—23/VII  |       | 8/VI—23/VII |      |
|---------|-----------|-------|------------|--------|-------------|-------|-----------|-------|-------------|------|
|         | 总 量       | 速 率   | 总 量        | 速 率    | 总 量         | 速 率   | 总 量       | 速 率   | 总 量         | 速 率  |
| 黄不施     | +1.55     | +0.31 | +1.00      | +0.10  | +0.86       | +0.06 | +3.43     | +0.23 | 6.84        | 0.15 |
| 青不施     | +0.87     | +0.17 | -0.11      | -0.01  | +1.81       | +0.12 | +1.10     | +0.07 | 3.67        | 0.08 |
| 板不施     | +0.38     | +0.08 | +3.03*     | +0.08* |             |       |           |       | 3.41        | 0.08 |
| 三种土壤的比值 | 1.9:1:0.4 |       | 1.9:1:1.1* |        |             |       | 1.9:1:0.9 |       |             |      |
| 黄 施     | -2.44     | -0.49 | -6.69      | -0.67  | +5.32       | +0.35 | +2.07     | +0.14 | —           | —    |
| 青 施     | -4.09     | -0.82 | -4.32      | -0.43  | +1.90       | +0.13 | +3.99     | +0.27 | —           | —    |
| 板 施     | -5.00     | -1.00 | -1.73      | -0.17  | +2.67       | +0.18 | +2.79     | +0.19 | —           | —    |
| 三种土壤的比值 | 0.6:1:0.8 |       | 1.6:1:0.4  |        | 2.8:1:1.4   |       | 0.5:1:0.7 |       | —           |      |

\* 为 13/VI—23/VII 的结果。

### (三) 硫酸铵在土壤中的转化与有机态氮形态的关系

兹将二级水解氮及各种形态氮的含量的变化绘于图2—7。由图2—4可见,施肥处理达到最大固定量时,6N HCl 水解氮量也达到最高峰,其中又以“碱稳定性”氮的增加为主,这与 Stewart<sup>[23]</sup> 的结果是一致的;在转入净矿化后,6N HCl 水解氮随之迅速降低。从图5—7来看,在净固定阶段0.56N HCl 水解氮变化很少,而转入净矿化后则先迅速上升而后复降低。表明在净固定阶段,微生物同化NH<sub>4</sub>-N直接形成复杂的有机氮,至净矿化阶段,所形成的复杂有机氮迅速分解,经过分解的中间阶段而部分地矿化成NH<sub>4</sub>-N。

表 5 总矿化氮量与有机氮量的变化\* (毫克 N/100 克烘干土)

| 代 号   | 总矿化氮 | 6N HCl 水解 |       |        | 0.56N HCl 水解 |       |        |
|-------|------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|       |      | 全 氮       | 碱稳定性氮 | 碱不稳定性氮 | 全 氮          | 碱稳定性氮 | 碱不稳定性氮 |
| 黄 不 施 | 15.2 | -11.5     | - 6.5 | -5.0   | -23.2        | -22.5 | -0.7   |
| 青 不 施 | 6.0  | - 8.5     | -12.3 | +3.8   | - 1.7        | - 2.6 | +0.9   |
| 板 不 施 | 5.2  | - 7.3     | - 8.6 | +1.3   | - 1.4        | - 3.4 | +2.0   |

\* 总矿化氮量是以供水解用的土壤在植稻期间的总供应氮量+7月23日取样后在风干过程中增加的土壤NH<sub>4</sub>-N量——原始土壤NH<sub>4</sub>-N量。

有机氮量的变化为原始土各级氮含量——7月23日取样风干后的土壤的各级氮含量。

在不施肥处理中,总的看来,无论6N或0.56N HCl 水解氮都逐渐降低,但从表5来看,又以前者比较明显(除黄泥土外),其中“碱稳定性”氮的变化较大。结合上述变化趋势来看,0.56N 水解氮比6N 水解氮易于矿化,但前者在矿化的同时又可能受到6N HCl 水解氮的分解所补给,因此其含量的变化较小,而6N HCl 水解氮的减少量却大致接近于总矿化量。黄泥土0.56N 水解氮大量减少的原因可能是因紫云英生长所增加的这级氮,在植稻条件下不易保持,而大量矿化提高了总供应量,而此时6N HCl 水解氮对0.56N 水解氮的补给速率又不足以补偿其消耗量。

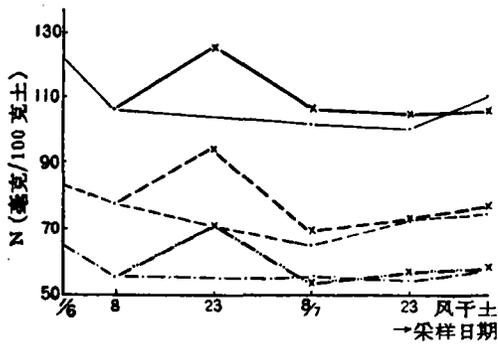


图2 6N HCl水解氮总量(已减去土壤NH<sub>4</sub>-N)变化

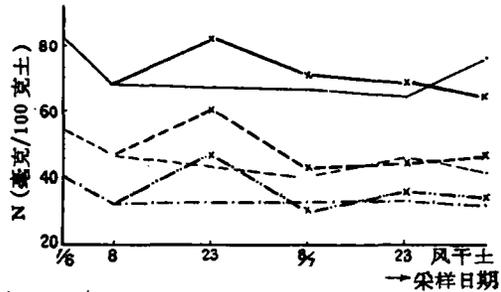


图3 6N HCl水解中碱稳定性氮的变化

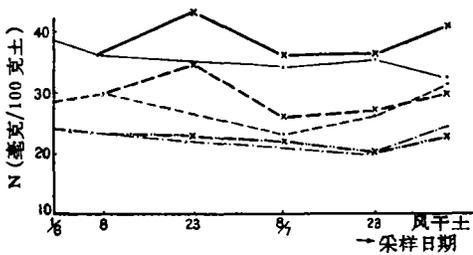


图4 6N HCl水解中碱不稳定性氮的变化(已减去土壤NH<sub>4</sub>-N)

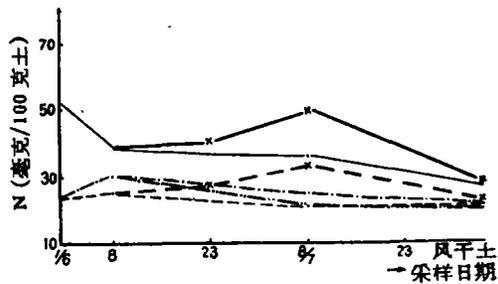


图5 0.56N HCl水解氮总量(已减去土壤NH<sub>4</sub>-N)变化

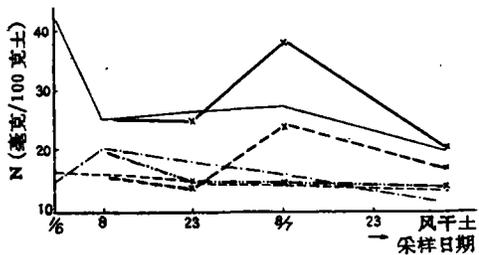


图6 0.56N HCl水解中碱稳定性氮的变化

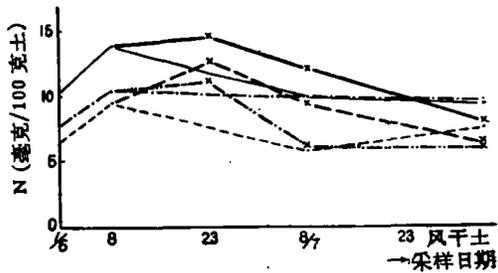


图7 0.56N HCl水解中碱不稳定性氮的变化(已减去土壤NH<sub>4</sub>-N)

从这些结果来看,在不施肥时,似可将氮素供应过程划成二个阶段,即6N HCl水解氮分解补给0.56N HCl水解氮,后者又补给土壤NH<sub>4</sub>-N。在施肥条件下,则部分肥料氮直接提供水稻利用,部分被土壤微生物同化形成细胞体,在其死亡分解时,补给0.56N HCl水解氮而后部分地矿化成NH<sub>4</sub>-N,另一部分则进行腐殖化而转入短期内难以大量矿化的有机氮中。

### 三、讨 论

前报中已经指出,我们认为土壤氮素供应状况包括容量、强度及其持续时间三个内容,这里我们将根据上述资料,对三种土壤的氮素供应状况以及施肥对土壤氮素供应状况的影响进行一些讨论。

## (一) 土壤的氮素供应强度及其持续时间

首先应该明确供应强度的含意。土壤中含有的  $\text{NH}_4\text{-N}$  量无疑是当时土壤的氮素供应强度的重要内容,但在施肥处理的净固定阶段,土壤微生物与水稻争肥(当然可能还有其他消耗  $\text{NH}_4\text{-N}$  的因素,如化学固定、脱氮损失等),因此当时土壤中的  $\text{NH}_4\text{-N}$  量并不是全部对水稻有效的,而应从中扣除其他因素消耗  $\text{NH}_4\text{-N}$  的速率,其中主要是净固定速率;反之,对照及施肥处理在净矿化阶段时,水稻可利用的氮量不仅是当时土壤的  $\text{NH}_4\text{-N}$  量,而且还应加上氮素的净矿化速率。因此我们计算了不同时间的净矿化速率和净固定速率(见表4)。将两次采样期间  $\text{NH}_4\text{-N}$  的平均值加上净矿化速率或减去净固定速率,得到不同时间的氮素平均供应强度如表6。为了比较这两种概念,又计算了不同时间水稻吸收氮的平均速率与当时的  $\text{NH}_4\text{-N}$  平均值或平均供应强度的比值,如表7。看来似乎平均强度作为水稻当时可利用的氮量的量度略较  $\text{NH}_4\text{-N}$  平均值为优。但由于在本试验中,净固定速率、净矿化速率比当时土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  量都小得多,二种计算方法的差异很

表6 两次采样期间水稻所处的氮素营养水平(毫克N/100克烘干土)

| 代 号   | 8—13/VI                       |            | 13—23/VI                      |            | 23/VI—8/VII                   |            | 8—23/VII                      |            |
|-------|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|
|       | $\text{NH}_4\text{-N}$<br>平均值 | 平均供应<br>强度 | $\text{NH}_4\text{-N}$<br>平均值 | 平均供应<br>强度 | $\text{NH}_4\text{-N}$<br>平均值 | 平均供应<br>强度 | $\text{NH}_4\text{-N}$<br>平均值 | 平均供应<br>强度 |
| 黄 不 施 | 6.33                          | 6.64       | 5.27                          | 5.37       | 2.72                          | 2.78       | 1.06                          | 1.49       |
| 黄 施   | 23.05                         | 22.56      | 16.31                         | 15.64      | 7.89                          | 8.24       | 2.78                          | 2.92       |
| 施肥的增量 | 16.72                         | 15.93      | 11.04                         | 10.27      | 5.17                          | 5.46       | 1.72                          | 1.43       |
| 青 不 施 | 2.76                          | 2.93       | 1.74                          | 1.73       | 0.76                          | 0.88       | 0.65                          | 0.72       |
| 青 施   | 18.92                         | 18.10      | 12.97                         | 12.54      | 5.98                          | 6.11       | 1.65                          | 1.92       |
| 施肥的增量 | 16.16                         | 15.17      | 11.23                         | 10.81      | 5.22                          | 5.23       | 1.00                          | 1.20       |
| 板 不 施 | 1.76                          | 1.83       | 0.95*                         | 1.03*      | —                             | —          | —                             | —          |
| 板 施   | 17.46                         | 16.46      | 12.23                         | 12.06      | 6.85                          | 7.03       | 2.06                          | 2.25       |
| 施肥的增量 | 15.70                         | 14.63      | —                             | —          | —                             | —          | —                             | —          |

\* 23/VI—23/VII 的平均结果。

表7 水稻吸收氮速率与氮素营养水平的比值

| 代 号   | 8—13/VI |       | 13—23/VI |       | 23/VI—8/VII |       | 8—23/VII |      |
|-------|---------|-------|----------|-------|-------------|-------|----------|------|
|       | A       | B     | A        | B     | A           | B     | A        | B    |
| 黄 不 施 | 0.054   | 0.052 | 0.056    | 0.056 | 0.098       | 0.096 | 0.19     | 0.16 |
| 黄 施   | 0.011   | 0.011 | 0.019    | 0.020 | 0.10        | 0.10  | 0.12     | 0.12 |
| 青 不 施 | 0.080   | 0.075 | 0.10     | 0.10  | 0.17        | 0.15  | 0.12     | 0.11 |
| 青 施   | 0.010   | 0.011 | 0.020    | 0.020 | 0.10        | 0.098 | 0.22     | 0.19 |
| 板 施   | 0.008   | 0.008 | 0.025    | 0.025 | 0.090       | 0.087 | 0.17     | 0.16 |
| 板 差   | 0.072   | 0.067 | 0.081    | 0.080 | 0.080       | 0.063 | 0.10     | 0.08 |

注: A: 与  $\text{NH}_4\text{-N}$  平均值的比值。 B: 与平均供应强度的比值。

小,从而  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量亦可做为供应强度的相对量度。这样,前报中指出的碱解法,特别是  $\text{MgO}$  蒸馏法亦可用于测定供应强度了。由此看来,一般所说的,水稻在什么生长期,土壤中  $\text{NH}_4\text{-N}$  大致应保持多高水平的意见,是有其一定的相对意义的。

从表 6 来看,在不施肥时,土壤的氮素供应强度,在各个时期都与土壤全氮含量成正相关,但是黄泥土的供应强度远比青泥土为高,而青泥土则仅略高于板浆白,这可能与黄泥土的易分解性有机质含量高有关(参见图 5 及图 6)。

在施肥后,黄泥土的供应强度仍始终大于青泥土和板浆白。从氮肥对供应强度的贡献来看,如表 6 所示,在 6 月 13—23 日,黄泥土却略低于青泥土,而板浆白此时未测对照,无法计算氮肥对供应强度的贡献,但看来是高于青泥土的(例如,即使用 6 月 8 日至 13 日板不施处理的平均供应强度作为 6 月 13—23 日的对照计算,板施处理的氮肥的贡献已达 10.23,而十分接近于青施处理上的贡献了,实际上板不施处理在 6 月 13—23 日中的供应强度应明显低于 8—13 日者,这可以从黄不施、青不施处理的供应强度的变化估计出来)。但是在 6 月 23 日以后,黄泥土上氮肥对供应强度的贡献即转而大于青泥土了,这显然与黄泥土的最大固定量大,此后的净矿化量亦大有关;板施处理在 6 月 23 日以后的平均供应强度略高于青泥土,而与不施肥相反。由此看来,在净固定量大的黄泥土上,氮肥的肥劲相对的比较稳而长,而固定量小的板浆白上则相对的比较猛。此外,由于施入氮量高,而水稻在生长初期吸收氮的速率却很小,因此,氮肥的肥劲也比较长。当然,如果在水稻吸收氮的速率较大时施肥,可能会表现为猛而短了。

## (二) 土壤的氮素供应容量

我们认为土壤氮素供应容量是矿质态氮和能在短期内矿化的氮素总量,也就是在一段时间内的氮素总供应量。这里我们企图寻找土壤氮素总供应量与土壤某级氮含量的表面关系。将不施肥处理 7 月 23 日总供应量减去试验前土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  后即为“净矿化量”;净矿化量占各级氮的比率,即为“矿化率”。结果如表 8。黄泥土的全氮、6N HCl 水解氮以及各种形态氮为基数时表现的“矿化率”都显著高于其他二种土壤,但以 0.56N HCl 水解中的“碱稳定性”氮为基数时,则三个土比较接近,似乎以这部分氮做为不施肥时的供应容量的相对量度比全氮更好些。而如果从全氮估计不同土壤间供应容量的相对大小时,应考虑至茬口和绿肥的生长好坏等,而从表 8 第二栏来看,粘粒含量少的板浆白,其全氮的矿化率似也比粘粒含量多的青泥土高一些。结合供应强度一段的讨论来看,土壤的氮

表 8 各级氮的“矿化率”\*(%)

| 代 号   | 全 氮 | 6NHCl<br>水解氮 | 6NHCl水<br>解**碱稳<br>定性氮 | 6NHCl水<br>解碱不稳<br>定性氮 | 0.56NHCl<br>水解氮 | 0.56NHCl<br>水解**碱<br>稳定性氮 | 0.56NHCl<br>水解碱不稳<br>定性氮 | NNaOH<br>***扩散氮 |
|-------|-----|--------------|------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|
| 黄 不 施 | 7.2 | 9.8          | 14.3                   | 30.9                  | 22.6            | 28.2                      | 11.5                     | 90.2            |
| 青 不 施 | 3.9 | 5.5          | 8.4                    | 16.1                  | 19.7            | 27.7                      | 68.7                     | 48.6            |
| 板 不 施 | 4.6 | 6.0          | 9.5                    | 16.3                  | 16.7            | 25.4                      | 48.6                     | 54.0            |

\* 将不施肥处理 7 月 23 日土壤氮素总供应量减去试验前土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  得到的矿化量,除以各级形态氮(亦扣除了原始  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量)即得“矿化率”。

\*\* 碱稳定性氮本身不包括  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 故未从其中减去土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$ 。

\*\*\* 扩散 42 小时,方法见前报。

素供应容量、强度及其持续时间，在不施肥时，都与全氮中易分解的有机氮含量的关系比较密切，而 0.56N HCl 水解氮，特别是其中的“碱稳定性”氮似可做为易分解性有机氮的相对指标，因此或可用来估计不施肥时不同土壤的氮素供应容量、强度及其持续时间的相对大小。

至于施硫酸铵后，土壤在短期内的总供应氮量（包括肥效）牵涉到最大固定量及生物固定态氮的矿化问题，而比较复杂。从施肥后 45 天氮肥的表观回收率来看，黄泥土的为 53.6%，青泥土的为 66.7%，而板浆白则达 74.4%，其比例依次为 0.8:1:1.1，而与最大固定量以及全氮和有机质含量成反相关。这意味着，在一个生长阶段中，同量的氮肥，在最大固定量大的土壤上，对氮素供应容量的贡献比较小。土壤中生物固定态氮在短期内不能大量矿化成矿质氮<sup>[16,23]</sup>，是造成这种结果的原因。

综上所述，氮肥对土壤氮素供应容量、强度及其持续时间的影响，都与土壤对施入氮肥的固定量和固定速率，以及转折点后的矿化量和矿化速率密切相关。因此，研究固定量和速率、矿化量和速率与土壤性质的关系，以及水稻对土壤中氮素转化的影响，将可能对陈永康的因土制宜的施肥原则提供一个方面的依据。

#### 四、结论和摘要

1. 在试验条件下，土壤中  $\text{NH}_4\text{-N}$  可以做为植稻土壤氮素供应强度的相对量度，但用不同时间的净固定速率或净矿化速率分别加以校正后，则与水稻吸收氮的速率的关系似更为密切。

2. 在不施肥时，土壤的氮素供应容量、强度及其持续时间都与土壤全氮含量成正比相关，但茬口（休闲、绿肥及其生长好坏）、可能还有粘粒含量都有一定的影响。以半纤维水解条件水解得到的“碱稳定性”氮作为估计不施肥时不同土壤的氮素供应容量、强度及其持续时间的综合指标，可能比全氮及其他形态有机氮、 $\text{NNaOH}$  扩散氮为优。

3. 硫酸铵施入土壤后，在初期进行净固定作用，至一定时间后方转入净矿化，三种土壤的转折点时间相同，而不受其本身的有机碳、全氮含量的影响。净固定速率和净矿化速率以及最大固定量与土壤的有机碳、全氮含量成正比相关，但易分解性有机氮含量高者，最大固定量与有机碳或全氮的比值较低。在转折点后的净矿化量和速率与转折点前的净固定量和速率成正比相关。

4. 肥料氮在土壤中经生物固定后形成 6N HCl 水解的有机氮，其中主要是“碱稳定性氮”，在转入净矿化后，这部分氮即迅速减少，经过较简单的有机氮而部分的矿化成  $\text{NH}_4\text{-N}$ 。试验中观察到了在 6N HCl 水解氮大量减少后，0.56N HCl 水解氮迅速上升，而后这部分氮又再减少的现象。

5. 固定量和速率大的土壤，在施肥后初期，因固定  $\text{NH}_4\text{-N}$  量较多，使初期氮肥对供应强度的贡献小，而至转入净矿化后，又由于净矿化量和速率比较大，对当时土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  的补给能力也较大，即氮肥对转折点后的供应强度的贡献比较大，从而造成氮肥在这种土壤上对供应强度的影响相对比较平稳，即“肥劲稳而长”。反之，在固定量和速率比较小的土壤上，则氮肥对供应强度的贡献在初期比较大，在后期则相对比较小些，因而氮肥对这种土壤的氮素供应强度的影响比较猛，在本试验中，由于初期水稻吸收氮的速率很小，因

而肥劲也较长。

但是,在試驗中,由于固定量大的土壤,本身的供应强度亦较大,因而施肥后总的供应强度始终高于固定量小、本身供应强度低的土壤。

6. 氮肥的表观回收率与最大固定量和土壤全氮、有机碳成反相关。这表明氮肥在不同土壤上对供应容量的贡献是不同的,最大固定量愈大(或全碳、全氮愈高),贡献愈小。

### 参 考 文 献

- [1] 陈家坊、程云生、刘芷宇: 1961. 陈永康的水稻高产措施和理論的初步总结. 土壤, 第8期, 1—6.
- [2] 刘芷宇、刘毓兰: 1962. 水稻的氮素营养問題. I. 土壤氮素供应强度及其持續時間对水稻器官协调生长的影响. 土壤学报, 10: 145—160.
- [3] 陈家坊、楊国治: 1962. 江苏南部几种水稻土的有机-矿质复合体性质的初步研究. 土壤学报, 10: 183—192.
- [4] 朱兆良: 1962. 土壤氮素供应状况的研究. I. 土壤碱解时氮的释放速率作为預測植稻土壤氮素供应状况的指标. 土壤学报, 10: 55—72.
- [5] 山根一郎、佐藤和夫、浜田竜之介: 1961. 黑泥土壤の加水分解性窒素と炭素. 日本土壤肥科学雜誌, 32: 360—363.
- [6] 原田登五郎, 1959. 水田土壤の有机态窒素の无机化とその機構に関する研究. 农业技术研究所报告 B(化学), №9, 123—185.
- [7] Allison, F. E. and Klein, C. J.: 1962. Rates of immobilization and release of nitrogen following additions of carbonaceous materials and nitrogen to Soil. Soil Sci., 93: 383—386.
- [8] Barnes, T. W.: 1953. The behaviour of nitrogenous materials buried in the Soil. II. The solubilization of nitrogen under full aeration for long periods. J. Agric. Sci., 43: 365—368.
- [9] Bhuiyan, S.: 1949. Transformation of nitrogen in rice Soil. Soil Sci., 67: 231—237.
- [10] Bremner, J. M.: 1949. Studies on soil organic matter I. The chemical nature of soil organic nitrogen. J. Agric. Sci., 39: 183—193.
- [11] Bremner, J. M. and Shaw, K.: 1955. Determination of ammonia and nitrate in soil. J. Agric. Sci., 46: 320—328.
- [12] Bremner, J. M.: 1960. Determination of nitrogen in soil by the kjeldahl method. J. Agric. Sci., 55: 11—31.
- [13] Cheng, H. H.: 1961. Chemical distribution of added nitrogen in soils. Diss. Abs., 22: 1376.
- [14] Cornfield, A. H.: 1957. Effect of 8-years fertilizer treatment on the "protein-nitrogen" content of four cropped soils. J. Sci. Food Agric., 8: 509—511.
- [15] Goring, C. A. I. and Clark, F. E.: 1949. Influence of crop growth on mineralization of nitrogen in the soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 13: 261—266.
- [16] Jansson, S. L.: 1958. Tracer studies on nitrogen transformation in soil with special attention to mineralization-immobilization relationships. Kungl. Lantbrukshögskolans annaler. 24: 101—361.
- [17] Legg, J. O. and Allison, F. E.: 1960. Role of rhizosphere microorganisms in the uptake of nitrogen by plants. Trans. 7th Inter. Congr. Soil Sci., 2: 545—550.
- [18] Munson, R. D. and Pesek, J. T.: 1958. The influence of corn residue, nitrogen, and incubation on nitrogen release and subsequent nitrogen uptake by oats: a preliminary evaluation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 22: 543—547.
- [19] Nömmik, H.: 1962. Mineral nitrogen immobilization and carbon dioxide production during decomposition of plant straw in soil as influenced by temperature. Acta. Agric. Scand., 12: 81—93.
- [20] Rendig, V. V.: 1951. Fractionation of soil nitrogen and factors affecting distribution. Soil Sci., 71: 253—267.
- [21] Stevenson, F. J.: 1956. Effect of some long-time rotations on the amino acid composition of the soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 20: 204—208.
- [22] Stevenson, F. J.: 1957. Distribution of the forms of nitrogen in some soil profiles. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21: 283—287.
- [23] Stewart, B. A.: 1961. Immobilization and mineralization of nitrogen in organic fraction of soil. Diss. Abs., 22: 1394.
- [24] Tracey, M. Y.: 1952. The decomposition of glucosamine by alkaline decomposition. Biochem. J., 52: 265—266.
- [25] Тюлин, А. Ф.: 1958. Органико-минеральные Коллоиды в почве, их Генезис и Значение Для Корневого питания высших Растений АН СССР. Москва.
- [26] Winsor, G. W. and Pollard, A. G.: 1956. Carbon-nitrogen relationships in soil. III. Comparison of immobilization of nitrogen in a range of soils. J. Sci. Food Agric., 7: 613—618.

## INVESTIGATION OF NITROGEN SUPPLYING REGIME OF SOILS

### II. THE TRANSFORMATION OF AMMONIUM SULFATE IN RICE SOILS AND ITS INFLUENCE ON THE SOIL NITROGEN SUPPLYING STATUS

C. L. CHU, Z. C. WAN AND Y. H. SÜ

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanking*)

#### (ABSTRACT)

Pot culture experiments were conducted on three rice soils of Southern part of Kiangsu with top-dressing of ammonium sulfate. The transformation of ammonium sulfate has been studied in respect to the changes of hydrolysable organic nitrogen fractions, and the relationship between mineralization and immobilization of nitrogen. Samples were taken at intervals of 0, 5, 15, 30 and 45 days after fertilization. From the results obtained, the nitrogen supplying status of different soils, with or without fertilization, are discussed as follows:

1. The nitrogen-supplying curves (Fig. 1) are obtained by summing up the total nitrogen absorbed by rice (including shoot and root Tab. 2) and the soil  $\text{NH}_4\text{-N}$  content (Tab. 1). The amount of maximum net immobilized N, which is parallel to the net remineralized N after turning point, is positively correlated with the total organic C (or N) content of the soil. However in soils with higher rate of mineralization, the rate of immobilization appears some what lower as estimated from total organic C (or N) content. The turning points of the nitrogen supplying curves of three soils (Tab. 4) fall to a same position.

2. The 6N HCl hydrolysable N, particularly its "alkali stable" portion raises along with the proceeding of N immobilization. Maximum rate of 6N HCl hydrolysable N coincides with the turning point of the curve. At the same time, the 0.56 N HCl hydrolysable N varies slightly. After turning point, the content of 6N HCl hydrolysable N drops rapidly to its original level, but the 0.56N HCl hydrolysable N increases significantly at first and then decreases in the same way (Fig. 2—7).

3. The recovery of fertilizer N, as estimated by the difference from fertilized treatment and control is in a negative correlation with the maximum net immobilization i.e. the immobilized N is less mineralizable within a short period. The nitrogen supplying capacity of controls is approximately parallel to the total nitrogen content of the soil, but the mineralization rate of soils is positively correlated with the ratio of "alkali stable" N in 0.56N HCl hydrolysate over the total organic nitrogen of the soil.

4. The nitrogen supplying intensity and its persistence are conformable to the nitrogen supplying capacity. The increment of the nitrogen supplying intensity and its persistence due to fertilization, however, are negatively correlated with the nitrogen supplying intensity of controls before turning point, and positively after it.

As revealed by the present investigation, the immobilization-remineralization process is an important factor governing the nitrogen supplying status.