

# 有机、无机肥料氮在水稻-土壤系统中的转化与分配\*

黄东迈 高家骅 朱培立

(江苏省农科院土壤肥料研究所)

在农业生产中,氮肥是决定作物产量的一个重要因素。有关氮肥的施肥方法和增产效果,长期以来已有很多报道,但是,对于有机态氮肥,如绿肥以及有机、无机肥结合施用以后,肥料氮素和土壤氮素在作物-土壤系统中的转化和分配动态研究较少。有机肥和绿肥是我国农业生产中的主要肥源。解放以后,全国开始普遍施用化肥,当前有机、无机肥结合施用已是我国施肥方法中的主要特点。研究有机、无机肥结合施用下的供肥特点、培土效果和增产作用,可以为我国现代农业的施肥制度以及经济合理施用有机肥料和化学肥料提供理论依据。为了这一目的,作者试图从有机、无机肥料氮的转化问题入手,进行如下试验。兹将这项试验的一部分结果,整理如下。

## 一、试验材料及方法

试验于 1978 年春在南京本所进行,采用  $\phi 15 \times 20$  厘米的白瓷钵,每钵装风干碎土 3 公斤。供试验土壤为:

黄泥土(代号 A)系江苏太湖地区高产水稻土,采自无锡县新安公社,当地中等肥力水平的田块。

板浆白土(代号 B),系丘陵地区低产水稻土,采自溧阳县上兴公社,当地肥力水平较低的田块。

鸭屎土(代号 C)系江苏里下河地区水稻土,采自兴化县西鲍公社,当地肥力中等偏低经过 14 年淤改旱的田块。

花碱土(代号 D)系黄河故道边发育于黄泛冲积物上的土壤,采自宿迁县双庄公社,当地肥力水平中等,改种水稻已 10 年的田块。

以上四种水稻土历年稻麦产量水平的次序为:黄泥土>鸭屎土>花碱土>板浆白土。采样茬口均为麦田,采土时间均在 4—5 月间。四种供试土壤的农化性状概括如表 1。

1978 年水稻试验设计处理如下:四种土壤分成(A)、(B)、(C)、(D)四组合,每个组合内设五个处理(表 2)。

试验重复三次。另在板浆白土中增加重复次数,分别于水稻栽后 15 天( $T_{15}$ ), 30 天

\* 本项工作尚有徐少云同志参加。

表 1 供试土壤几种主要化学性状

Table 1 Some chemical properties of the soils used for experiment

土壤代号 Soil No.	pH	有机质(%) Organic matter (%)	全氮(%) Total nitrogen (%)	C:N	质地 Texture
A	6.5	2.43	0.133	10.6	粘壤 Clayey loam
B	6.0	0.86	0.054	9.2	粘壤 Clayey loam
C	7.0	2.91	0.150	11.3	粘壤 Clayey loam
D	8.5	0.73	0.058	7.3	砂壤 Sandy loam

表 2 氮素肥料的不同配合处理

Table 2 Different mixed treatment of crotalaria and  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 

处理 (1) Treatment (1)	$^{15}\text{N}$ 标记桤麻 $^{15}\text{N}$ labelled crotalaria
处理 (2) Treatment (2)	$\frac{1}{2}$ $^{15}\text{N}$ 标记桤麻 + $\frac{1}{2}$ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ * $\frac{1}{2}$ $^{15}\text{N}$ labelled crotalaria + $\frac{1}{2}$ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ *
处理 (3) Treatment (3)	$\frac{1}{2}$ $^{15}\text{N}$ 标记 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + $\frac{1}{2}$ 桤麻* $\frac{1}{2}$ $^{15}\text{N}$ labelled $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + $\frac{1}{2}$ crotalaria*
处理 (4) Treatment (4)	$^{15}\text{N}$ 标记 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ $^{15}\text{N}$ labelled $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
处理 (5) Treatment (5)	无氮对照区 Check (No nitrogen applied)

\* 未标记。

\* Non-labelled.

( $T_{30}$ ), 50 天 ( $T_{50}$ ) 及收获期 ( $T_{100}$ ) 采样, 测定水稻生育期中植株与土壤中的氮素。

所用的标记桤麻其  $^{15}\text{N}$  原子百分超为 6.482%, 烘干磨碎后, 与供试土样均匀混合作基肥, 施入 N 量为 250 毫克/盆。

所用  $^{15}\text{N}$  标记硫酸铵, 其  $^{15}\text{N}$  原子百分超为 10.617%, 施用硫酸铵配成溶液与供试土样均匀混合施作基肥, 施入 N 量为 240 毫克/盆。1/2 桤麻-N +  $\frac{1}{2}$   $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -N 的处理施入 N 量为 245 毫克/盆。

所有试验处理每盆中都施入 240 毫克的  $\text{P}_2\text{O}_5$ 、288 毫克的  $\text{K}_2\text{O}$  及微量元素, 以确保其它营养元素的正常供应。

供试水稻品种为南粳 34(中粳), 6 月 22 日播种, 7 月 16 日移栽, 每盆栽插 6 苗分成 3 穴, 10 月 23 日收获, 盆栽水稻生长期为 100 天。

所有植株和土壤样品的<sup>15</sup>N 丰度由中国科学院南京土壤所质谱仪测定。

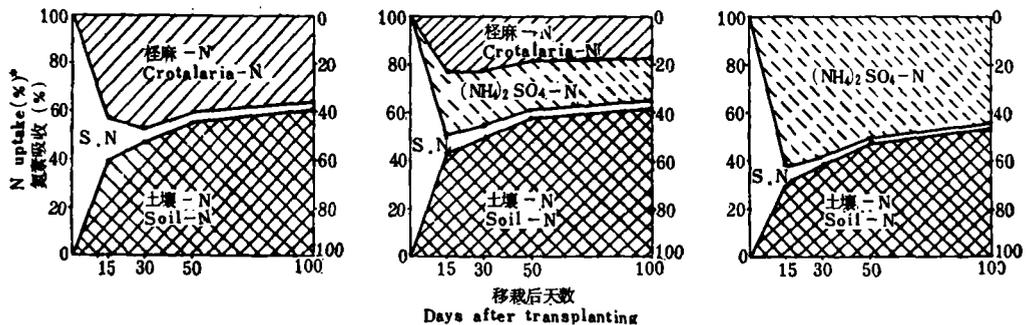
## 二、结果与讨论

### (一) 关于氮素的补给

水稻生长期间吸收的氮素包括土壤原有氮素和肥料氮素。试验结果说明, 土壤氮素与水稻生长关系极大, 水稻当季吸收的氮素主要来自土壤中原有的氮素。根据在四种土壤上用示踪法测定的结果, 大体上肥料氮占水稻总氮量的三分之一左右( $29.77 \pm 7.96\%$ ,  $n = 12$ ), 而土壤氮却占三分之二左右( $68.20 \pm 8.53\%$ ,  $n = 12$ )。土壤氮除少量为无机态氮外, 绝大部分均属有机氮, 其较易分解的部分为酰胺态氮、氨基糖以及氨基酸氮和未检定性氮(酸解碱稳定性氮)等<sup>[7,12]</sup>, 它们是土壤有效氮的主要给源。

#### 1. 水稻生长期间对土壤氮和肥料氮的吸收动态。

水稻生长期间对肥料氮、土壤氮的吸收是随生长期而变化的。如图 1 所示, 在板浆白土上, 在移栽后 15 天内, 不论何种施肥处理, 植株吸收的肥料氮量一般大于土壤氮量, 15—30 天期间, 除施硫酸处理外, 两种氮源的吸收量接近相等, 或土壤氮量开始大于肥料氮, 30 天以后, 即水稻生育中后期, 如不施追肥, 植株吸收转以土壤氮为主。至成熟时, 虽然土壤全氮量仅为 0.05%, 土壤氮仍占各处理植株全氮的  $58.4 \pm 4.68\%$  ( $n = 3$ )。可见在只施基肥的情况下, 水稻对土壤氮的依赖性随着生育期的进展而不断增加。



注: \* 基于植株全氮 S. N- 秧苗氮

\* Based on the total assimilated nitrogen S. N- Seedling nitrogen

图 1 水稻生长期间对土壤氮和肥料氮的吸收动态

Fig. 1 Variation of uptake of soil and fertilizer nitrogen during the growing period of rice (Soil No. B)

从图 2 中看出, 在板浆白土上移栽 30 天以后, 水稻从不同基肥中吸收的氮素已较有限。各种氮源比较, 桉麻特别是桉麻和硫酸混合施用, 其供氮情况要比单施硫酸的持久而稳定。有机肥料这种肥效较低但能持久供应的特点往往给农业生产带来很大好处。

试验通过(2)、(3)两处理, 在等氮情况下, 交替标记桉麻和硫酸, 以测定在有机无机混合施肥中, 水稻生长期间对同时来自桉麻和硫酸两方面有效氮素的吸收情况, 这一结果

见图 3。图 3 显示在水稻移栽后约 15 天内，水稻吸收来自硫酸铵的氮素较来自怪麻的略多，但在其后，从水稻分蘖盛期直至成熟期间，两种不同肥源对水稻氮素的供应量甚为相近。从水稻全生长期看，在怪麻和硫酸铵结合施用情况下，矿质肥料硫酸氮的供应同样变得比单独施用持久而稳定得多，这可能是有机、无机肥配合施用，在养分供应上的一个特点。

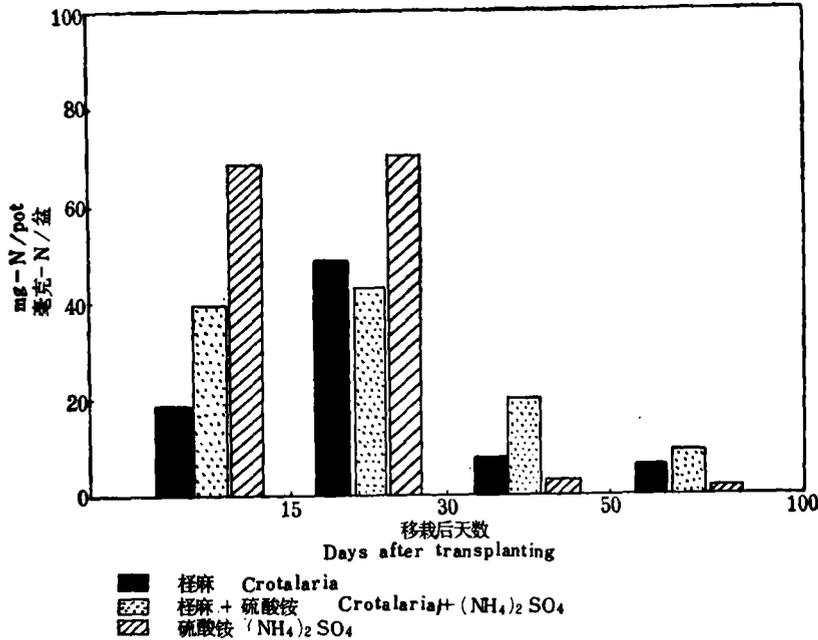
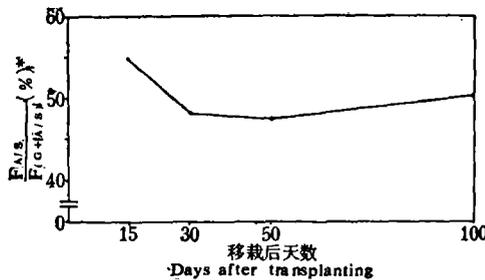


图 2 水稻不同生长时期对不同肥源氮的吸收情况

Fig. 2 Uptake of nitrogen by rice plant from different fertilizer sources in different growing stages



\*  $F_G-N$  从怪麻中吸收的氮  $F_G-N$ : N uptake from Crotalaria  
 $F_{A/S}-N$  从硫酸铵中吸收的氮  $F_{A/S}-N$ : N uptake from  $(NH_4)_2SO_4$

图 3 水稻生长期间对怪麻氮和硫酸氮的吸收比率

Fig. 3 Ratio of N uptake from Crotalaria and  $(NH_4)_2SO_4$  by rice plant during its growing period

### 2. 土壤有效氮 A 值的探讨。

自 Fried 和 Dean<sup>[9]</sup> 于 1952 年应用同位素稀释原理求得土壤有效磷 A 值以后，1965 年 Hunter 和 Carter<sup>[10]</sup> 将有效磷 A 值概念引用到土壤有效氮的测定中，也称 A 值。一些报告指出，土壤 A 值受氮肥形态、施肥方法和时间等所影响。至于施肥量，有些报告指出

对 A 值无显著影响, 有些结果则说明有影响。不少报告指出, A 值与产量的相关性很高<sup>[5]</sup>。小山雄生<sup>[4]</sup>指出 A 值是决定于土壤、肥料、作物综合体系的一个数值。

对四种土壤在施用不同氮源情况下测得的 A 值及其它有关数值见表 3。从表 3 清楚地看出, 不论在何种施肥处理下, 测得的 A 值其大小排列次序均为:

黄泥土 > 鸭屎土 > 花碱土 > 板浆白土。

这种排列次序与表 1 中四种土壤的肥力状况很一致。因此, 从土壤间比较, A 值看来是一个能够反映不同土壤的有效氮供应差别的一个比较可靠的特定值, 它和土壤的肥力性状密切相关。以表 3 中硫酸处理的 S/F 值 (即作物吸收的土壤氮/作物吸收的肥料氮) 为例, 黄泥土为 3.34、鸭屎土 2.56、花碱土 1.58、板浆白土 1.19, 说明在肥力较高的土壤上, 水稻吸收土壤氮可以数倍于其吸收的肥料氮量。可见养地之重要。

表 3 四种土壤上施用不同氮源的 A 值和有关值

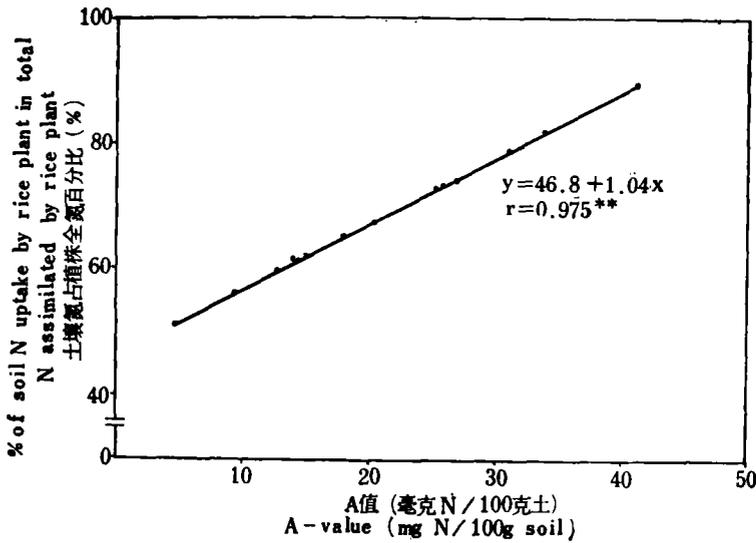
Table 3 The A-Value and other related values of four paddy soils under different N sources

处 理 Treatment	土壤编号 Soil No.	吸收总氮量 (毫克-N/盆) Total N assimilated (mg-N/pot)	氮源(毫克-N/盆) Nitrogen sources (mg-N/pot)		S/T (%)	F/T (%)	S/F	A 值(毫克-N/ 100克土) A-value (mg- N/100g soil)
			土壤 N Soil N (S)	肥料 N Fertilizer N (F)				
桉 麻 Crotalaria	A	560.5	444.2	108.8	79.2	19.4	4.08	34.0
	C	393.1	291.0	94.3	74.1	24.0	3.09	26.0
	D	290.7	193.0	90.2	66.4	31.0	2.14	17.8
	B	224.8	136.2	81.1	60.6	36.1	1.68	14.0
$\frac{1}{2}$ 桉麻 + $\frac{1}{2}$ (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> $\frac{1}{2}$ Crotalaria + $\frac{1}{2}$ (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	A	567.9	446.0	114.3	78.5	30.2	3.90	31.9
	C	427.6	317.2	102.8	74.2	24.1	3.08	25.2
	D	352.4	223.7	121.1	63.5	34.4	1.85	15.1
	B	294.1	181.8	104.8	61.6	35.2	1.74	14.2
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	A	597.6	454.0	135.9	76.0	22.8	3.34	26.9
	C	490.6	346.9	136.1	70.7	27.7	2.56	20.4
	D	383.5	230.1	145.8	60.0	38.0	1.58	12.6
	B	310.2	164.5	138.1	53.0	44.5	1.19	9.53

各土壤的 A 值与土壤氮在水稻吸收的总氮量中所占的百分比及与无氮处理中的稻谷产量或水稻生物产量间均呈极显著正相关(图 4、5)。一些报告指出, 甚至在不同气候带下不同性质土壤的 A 值也和水稻吸收的土壤氮素总量呈较好的相关性<sup>[6]</sup>。因此, 在实践上, 可以通过对土壤氮素 A 值的测定预测在一定施肥水平下, 作物对土壤氮素的吸收情况, 这对推断土地生产力和作物产量可能是很有帮助的。

不同施肥处理对同一土壤的 A 值也有一定影响(表 3)。各土壤一般以施桉麻处理的 A 值最大, 其次为桉麻 + 硫酸, 而以纯施硫酸的 A 值为最小。由于硫酸-N 的利用率高于桉麻-N, 所以土壤中活性与被水稻吸收的硫酸-N 相当的一部分氮素必然要小于相当于桉麻-N 那部分氮素的量, 这一结果与 A 值的概念是吻合的。

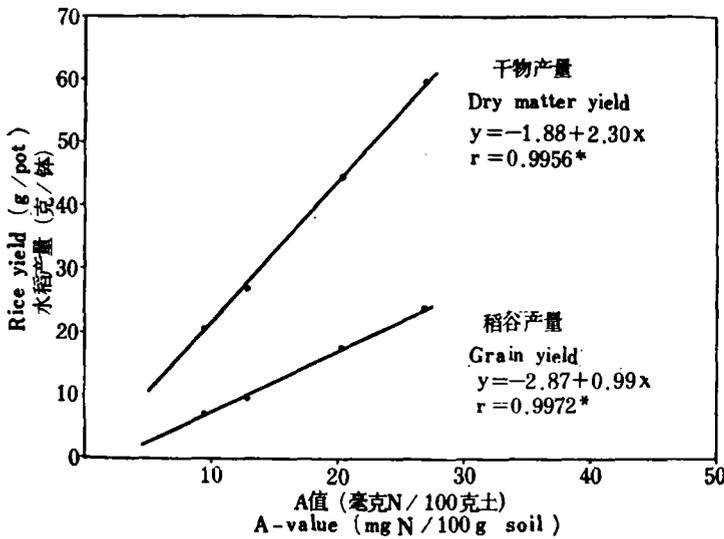
总之, 土壤氮素 A 值是一个重要的肥力指标, 它标志着一种土壤对作物供应氮素的容



注: \*\* 表示显著性达1%水准

图 4 土壤氮(A 值)与水稻吸收土壤氮的相关性

Fig. 4 Correlation between A-value of soil nitrogen and soil nitrogen uptake by rice plant



注: \* 表示显著性达 5% 水准

图 5 A 值与水稻产量的相关性

Fig. 5 Correlation between A-value and rice yield

量。它和土壤有机、无机复合体中不同成分的有机态氮有何联系,在增肥改土过程中江苏省各主要农业土壤类型A 值的变化如何。这些都是值得研究的问题。

### 3. 施肥对土壤氮素的激发效应。

五十年代以来,不少作者指出施用氮肥可以激发土壤氮素的矿化,增加作物对土壤氮素的吸收量。很多作者研究和讨论了这一现象及其机制,并指出多方面的原因<sup>[1,2,12]</sup>。作者初步测定了施用无机、有机肥料对四种土壤中土壤氮素的激发效应(表 4),并以两种方

法计算土壤氮的激发率 (P) 作为激发效应的量度以进行比较。

方法之一的土壤氮激发率 (P) 的计算公式如下:

$$P = \frac{N_0 - (N - N_r)}{N_c}$$

P——土壤氮激发率

$N_0$ ——原始土壤总氮量

N——施肥并种植一季作物以后土壤总氮量

$N_r$ ——肥料 $^{15}\text{N}$ 在土壤中的残留量

$N_c$ ——无氮对照中土壤氮消耗量

另一算法为常用的从植株吸收的土壤氮计算激发率即:

$$P = \frac{\text{施N肥区植株总氮量} - \text{植株吸收肥料氮量}}{\text{无氮区植株总氮量}}$$

当  $P > 1$  为正激发、 $P < 1$  为负激发

根据表 4 所示结果, 本试验中施肥对于土壤中氮的激发效应在大多数情况下为正激发, 少数为负激发。施用硫酸处理的均产生正激发, 施用怪麻的激发效应两种方法计算均有正有负, 原因不清楚。长期以来对施肥而引起的这种激发效应的机制, 不少作者的意见很不一致, 由于试验技术上的一些原因, 在同一情况下所得的测定结果有时也会不一。Sauerbeck<sup>[18]</sup> 通过施用 $^{14}\text{C}$  标记的不同绿肥, 测定对土壤碳的激发效应指出, 标记的绿肥施

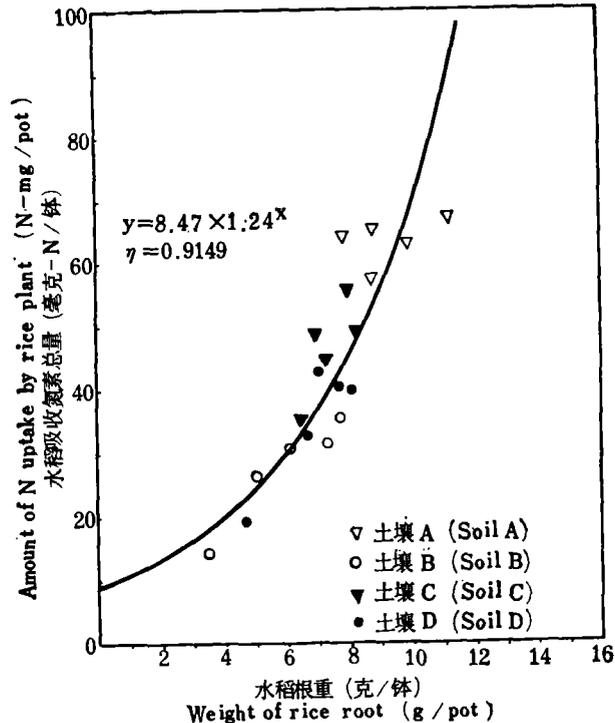


图 6 氮素吸收和水稻根量的相关性

Fig. 6 Correlation between N uptake and weight of rice roots

表 4 四种水稻土上不同氮肥源对土壤的激发效应  
Table 4 The priming effect of different fertilizer nitrogen on native soil nitrogen

土壤编号 Soil No.	处 理 Treatment	原始土壤总氮量 (毫克/盆) Total N in original soil (mg/pot)	栽稻后土壤总氮量 (毫克/盆) Total N in soil after harvest (mg/pot)	栽稻后土壤总氮增减量 (毫克/盆) Difference in soil N after harvest vs. Check (mg/pot)	<sup>15</sup> N 肥料残留量 (毫克/盆) Residual fertilizer N (mg/pot)	土壤氮消耗量(毫克-N/盆) Consumption of soil N (mg-N/pot)		激 发 率 Priming ratio	
						方法 1 Method 1	方法 2 Method 2	方法 1 Method 1	方法 2 Method 2
A	枳 麻 Crotalaria	3990	3669	108	104.2	425.2	444.2	0.99	1.13
	硫 铵 (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3990	3486	-75	54.2	558.2	457.0	1.30	1.16
	无氮处理 No N	3990	3561			429.0	393.0		
B	枳 麻 Crotalaria	1629	1644	88	136.5	121.5	136.2	0.90	1.15
	硫 铵 (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1629	1515	24	39.0	153.0	164.5	1.11	1.39
	无氮处理 No N	1629	1491			138.0	118.3		
C	枳 麻 Crotalaria	4500	4170	0	110.7	400.7	291.2	1.34	0.92
	硫 铵 (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4500	4056	-114	47.0	491.0	346.9	1.49	1.10
	无氮处理 No N	4500	4170			330.0	315.6		
D	枳 麻 Crotalaria	1740	1686	90	113.4	167.4	192.9	1.16	1.20
	硫 铵 (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1740	1554	-42	39.7	225.7	230.1	1.57	1.43
	无氮处理 No N	1740	1596			144.0	161.0		

注: 方法 1. 按所示公式计算; 方法 2. 按水稻吸收土壤氮计算。

Note: Method 1 is calculated by equation (1), method 2 is calculated by conventional method.

入土壤以后很快分解转化到土壤有机质中, 认为所谓激发效应主要是土壤内部的物质转化。这虽然指的仅是对有机碳的激发效应, 但正如 Jansson<sup>[13]</sup> 指出的那样, 有机碳和有机氮在土壤中的转化是十分紧密地结合着的。从本试验初步测定结果看, 施入绿肥对土壤氮的激发效应是存在的, 但出现正负激发两种状况。

正激发的产生与施肥后促进作物根系的发展, 因而增加根系对土壤氮素的吸收十分相关, 根据本试验测定, 水稻根系愈发达, 其吸收的氮素也愈多(图 6)。

Legg 和 Stanford 指出不同土壤上氮肥激发效应有随 A 值增高而增大趋势<sup>[15]</sup>。从初步试验结果看, 在水田情况下, 作者未发现这种趋势, 激发效应在各土壤之间和 A 值之间看不出一定的关系。

综上所述, 水稻生长所需要的氮素一半以上是由土壤本身补给的, 施入的肥料氮大体上仅在施后半月左右的一段时间内起主要的供氮作用, 在大部分的水稻生长期, 其所需的氮素主要依赖于土壤氮的持续补给。因此, 在水稻生产中, 养地具有突出的重要性。由于土壤 A 值与水稻产量呈极显著正相关, 可以大体上从表 3 中的 S/F 值估计土壤和肥料氮在水稻生产中的相对作用, 类似江苏太湖地区的黄泥土及里下河地区鸭屎土, 虽施用肥料不同, 当季水稻生产大约七至八成赖于土壤, 二至三成赖于当季施肥。在低产地区的花碱土和板浆白土上, 大约五成半至六成半赖于土壤, 余者赖于当季施肥。当然, 影响水稻生产的因素是多方面的, 这里只是从盆钵试验中的供氮状况粗略推断, 和大田实际会有一定差别, 但是可以看出土壤氮是水稻稳产的一个重要因素, 这不仅是因为它是水稻的主要氮素给源, 而且也正如试验结果所表明的那样, 在整个水稻生长期, 它始终起了持续的补给作用。

## (二) 关于氮素的转化与平衡账

### 1. 肥料氮的矿化与固定。

不同氮素肥料在土壤中的矿化和固定状况是影响土壤中氮素供应的一个重要因素。本试验按以下两个公式计算了施入有机氮肥的矿化率和施入无机氮肥的生物固定率。

$$\text{矿化率}(\%) = \frac{N_a + N_l + N_m}{N} \times 100\%$$

$$\text{生物固定}(\%) = \frac{N_r - N_m}{N} \times 100\%$$

$N_a$ ——水稻吸收施入肥料<sup>15</sup>N 量

$N_l$ ——施入肥料<sup>15</sup>N 损失量

$N_m$ ——土壤中矿质态<sup>15</sup>N

$N_r$ ——施入肥料<sup>15</sup>N 在土壤中的残留量

$N$ ——施入肥料<sup>15</sup>N 量

测定结果如图 7 所示。板浆白土中施入有机氮的矿化和施入无机氮的固定一开始就是同时进行的。<sup>15</sup>N 标记怪麻有机氮在栽稻后半月之内迅速矿化, 其后矿化率缓慢上升, 五十天以后, 变化很小, 这一情况和过去田间实测结果较为一致<sup>[3]</sup>。<sup>15</sup>N 标记硫酸铵在栽稻后半月之内有百分之四十被土壤微生物所固定, 但如图 7 所示, 当达到固定高峰以后的

半个月內,这部分生物新固定的标记氮的百分之五十左右又再矿化。混施处理中被固定的硫铵氮约占施入量的一半以上,这部分新固定的硫铵氮当达到其固定高峰以后的半月內同样再矿化,但再矿化的比例比前者低,仅占其新固定量的百分之二十左右。灌水五十天以后,水田氮素的转化在本试验处理中基本保持相对平衡状态。

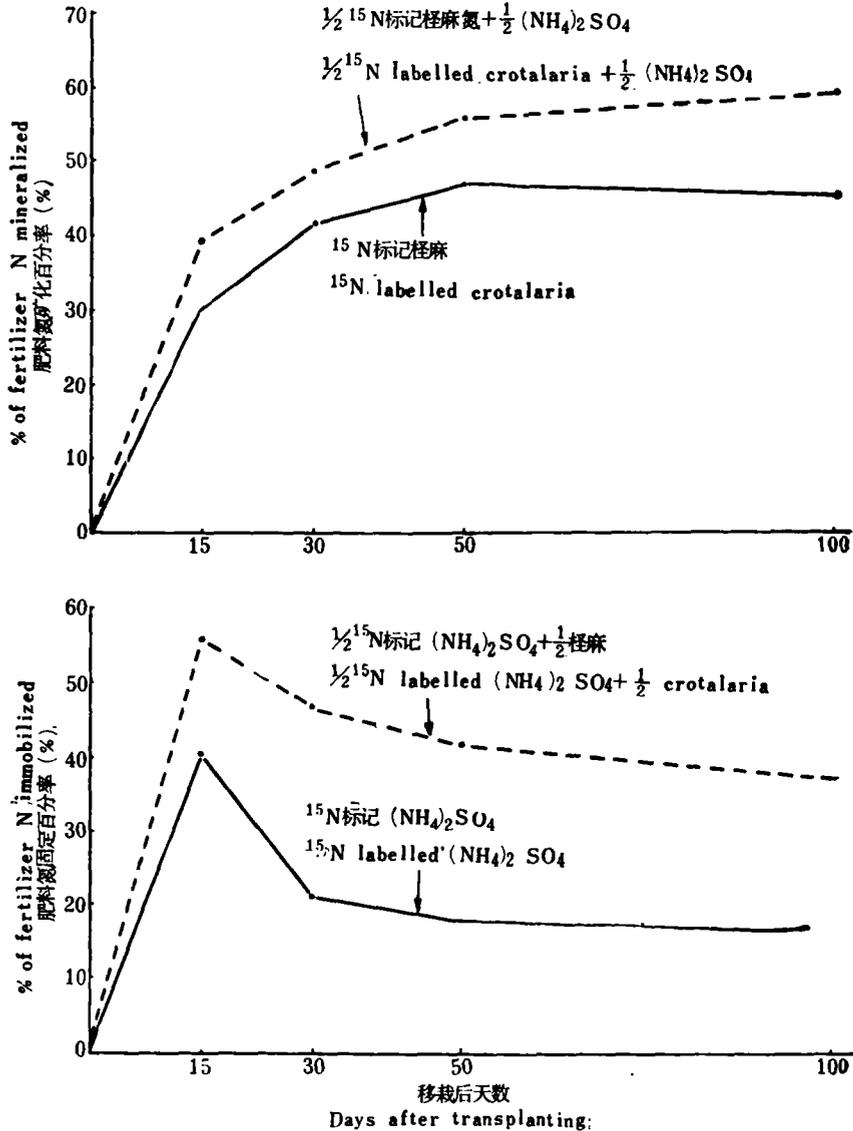


图7 水稻生长期间施入不同氮肥在土壤中的矿化和固定

Fig. 7 The mineralization and immobilization of different nitrogen fertilizers added in soils during the period of rice growth

由图7中可清楚地看出,水稻生长期间,当怪麻和硫铵配合施用,无机氮提高了有机氮的矿化率,有机氮提高了无机氮的生物固定率。这是有机、无机氮源结合施用时在氮素转化方面的一个主要特点。

已有很多报告指出有机氮源的存在,使土壤中无机氮源的生物固定量有明显的增

加<sup>[11]</sup>, 也有一些报告指出<sup>[19]</sup>, 无论在水田或旱地状态, 加入无机铵态氮肥, 可使类似稻草秸秆等有机物的氮素矿化量增加, 同时也指出这部分无机氮肥对原有土壤有机氮矿化具有促进作用。

无机氮肥施入土壤以后, 除了被作物吸收和损失的部分以外, 其余的转变成了微生物的驱体, 这部分被固定的N一部分在当季作物生长期就再矿化了, 另一部分当季作物生长期虽未矿化, 但它们仍是比较易分解和再矿化的。一些报告指出<sup>[14]</sup>这部分有机态氮主要为酰胺氮、 $\alpha$ -氨基酸氮和非水解性氮, 据 Chicherter 等的资料, 这部分新固定的氮的有效性较土壤中原有有机氮的有效性要高1—2.5倍<sup>[6]</sup>。当然一部分新固定的氮也逐渐转化为不易分解的土壤有机质的组成成分。所以, 由于矿化和生物固定作用(Immobilization), 施入的有机或无机氮肥是在不断地相互转化着的情况下供给作物以养料的。这种转化在很大程度上受当时的土壤环境条件、肥料性质以及土壤微生物活动状况等因素所左右。弄清影响矿化—生物固定作用的因素及其机制对于进一步提高氮肥的利用率, 促进被固定氮肥的分解和再利用, 以及减少施肥后氮素的损失等实际问题具有重要的意义。

## 2. 肥料氮在作物和土壤间的分配及其平衡账

在江苏四种主要土壤上施用不同氮肥, 种植一季水稻以后, 施入的肥料氮平均被水稻

表5 有机无机氮肥配合施用中柃麻及硫酸氮在土壤中残留量的变化

Table 5 The variation of residual <sup>15</sup>N under the condition of mixed application of crotalaria and (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

处 理 Treatment	土壤代号 Soil No.	<sup>15</sup> N 肥残留量(%) 施入 <sup>15</sup> N 肥量 Amount of residual <sup>15</sup> N Amount of fertilizer <sup>15</sup> N applied (%)	增减量(%) Increase or decrease in %	平均增减量(%) Average %
<sup>15</sup> N 柃 麻 <sup>15</sup> N labelled crotalaria	A	41.7		
	C	44.3		
	D	45.4		
	B	54.6		
$\frac{1}{2}$ <sup>15</sup> N 柃麻 + $\frac{1}{2}$ 硫酸 $\frac{1}{2}$ <sup>15</sup> N labelled crotalaria + $\frac{1}{2}$ (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	A	40.6	- 1.1	- 7.5 ± 5.7
	C	39.6	- 4.6	
	D	34.9	- 10.5	
	B	40.9	- 13.8	
$\frac{1}{2}$ <sup>15</sup> N 硫酸 + $\frac{1}{2}$ 柃麻 $\frac{1}{2}$ <sup>15</sup> N labelled (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + $\frac{1}{2}$ crotalaria	A	27.4	+ 4.9	+ 10.9 ± 7.2
	C	31.2	+ 11.6	
	D	22.7	+ 6.2	
	B	37.1	+ 20.9	
<sup>15</sup> N 硫 铵 <sup>15</sup> N labelled (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	A	22.6		
	C	19.6		
	D	16.5		
	B	16.2		

吸收为  $46.43 \pm 8.71\%$ ,  $n=16$ ; 残留在土壤中的为  $33.44 \pm 11.49\%$ ,  $n=16$ ; 损失为  $20.11 \pm 3.55\%$ ,  $n=16$  (在本试验条件下, 全为气态损失)。

肥料氮的吸收、残留和损失三者的比重与肥料的种类和施入方法十分相关。作为基肥施用, 硫酸氮在土壤中的残留量少, 桉麻氮残留多。硫酸和桉麻结合施用, 使硫酸氮在不同土壤中的残留量平均比单施硫酸的增加  $10.8\%$ ; 使桉麻氮在不同土壤中残留量平均比单施桉麻的减低  $7.5\%$  (表 5)。

肥料 N 的损失, 以硫酸最高, 平均  $23.4 \pm 2.26\%$ , 桉麻最低, 平均  $16.2 \pm 2.81\%$ , 硫酸、桉麻配合施用, 损失有所降低, 平均为  $20.4 \pm 2.05\%$ 。Reddy 和 Patrick<sup>[16]</sup> 测定, 种植两年水稻后, 约有  $18-30\%$  施入氮呈气态损失, 而大部分损失在第一季水稻生长期。这种损失主要由于反硝化作用。

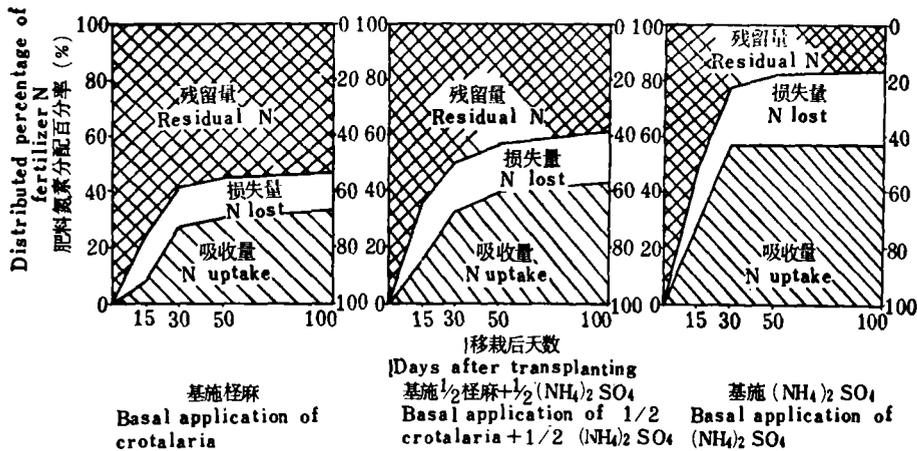


图 8 水稻生长期肥料氮的平衡账

Fig.8 The balance sheet of fertilizer nitrogen at different stages of rice growing period (Soil No. B)

肥料 N 的吸收、残留和损失三者的比重随水稻生育期的进展而不断地改变 (图 8)。同一土壤上在同一水稻生育期三者的比重又会因施入的氮源不同而不同。一般在栽稻五十天后, 三者配比趋于稳定, 五十天以前, 特别是三十天以前是生物活动最旺盛时期, 三者配比的变化较大。图 8 中明显地看出整个水稻生长期桉麻 N 的残留量大于水稻吸收量, 硫酸 N 的吸收量远大于其残留量, 硫酸和桉麻配合施用, 其残留量和吸收量均增高。

从以上结果, 说明对每季作物施入的肥料氮, 除被作物吸收和损失的以外, 有相当一部分残留在土壤中, 在四种土壤上种植一季水稻以后, 土壤中残留的桉麻氮平均达  $46.5 \pm 5.6\%$  ( $n=4$ ), 残留的硫酸氮达  $18.7 \pm 3\%$  ( $n=4$ ) (表 5), 在我国以有机肥为主, 有机和无机肥结合施用的情况下, 肥料氮在土壤中的残留量是相当多的, 研究这部分残留氮的去向, 以及如何提高其对后茬作物的残效, 是一个对农业生产具有实际意义的问题。

进行作物施肥, 特别是施用化学氮肥, 可以引发激发效应, 促进土壤氮的分解, 增加作物对土壤氮的吸收, 与此同时, 一部分肥料氮又被固定和残留在土壤中, 这种氮素的分解和积累以及由此而产生的土壤氮和肥料氮之间的转化往往是不平衡的, 施入的不同氮源, 通过栽种一季水稻以后, 对土壤中氮素的平衡账产生不同的结果, 在四种土壤上, 凡施用

桤麻为基肥的, 种植一季水稻以后土壤含氮量(包括残留肥料氮在内)增加  $71.5 \pm 48.5$  毫克/盆 ( $n = 4$ ), 以硫酸铵为基肥的反亏缺  $51.75 \pm 58.4$  毫克/盆 ( $n = 4$ ) (表 4), 这一现象说明以绿肥桤麻为基肥, 一季水稻以后, 对土壤中有有机氮的含量有所增加, 长期以来, 不少土壤学家对施用绿肥是否增加土壤有机质意见很不一致, 本试验结果在四种土壤上均显示了桤麻对增加土壤有机氮的影响。至于单纯施用化学氮肥, 看来, 并不能增加土壤中的有机氮, 残留的硫酸铵氮只是起了更新土壤有机氮的作用。

在等氮水平下利用交叉标记硫酸铵和桤麻的方法可以看出有机氮和无机氮在混合施用时的相互间的影响。如果和单独施用桤麻或硫酸铵比较, 初步可以看出有机肥和无机肥混合施用时在氮素转化方面的某些特点, 二者混施, 具有提高有机氮的肥效, 减少氮肥损失, 保持氮素对作物的均衡供应以及延长无机氮肥肥效等优点, 所以进一步研究和比较不同施肥体系中养分转化的特点, 将有助于确立适于我国农业现代化的施肥制度, 充分利用和发挥我国各种肥料资源在农业生产中的增产作用。

### 参 考 文 献

- [1] 朱祖祥, 1963: 从绿肥的起爆效应探讨它的肥效机制及其在施用上的若干问题。浙江农业科学, 第3期, 104—109页。
- [2] 朱兆良, 1979: 土壤中氮素的转化和移动的研究近况。土壤学进展, 第3期, 1—16页。
- [3] 黄东迈、李锡涇, 1955: 水稻生长期间土壤中铵态氮素及亚铁的变化。土壤学报, 第3卷2期, 83—89。
- [4] 小山雄生, 1975:  $^{15}\text{N}$  利用による水田土壤窒素肥沃度測定實際と生産力。日本土壤肥料学雑誌, 6: 260—269。
- [5] Broadbent, F. E., 1970: Variables affecting A-value as a measure of soil nitrogen availability. Soil Sci., 110:(1), 19—23.
- [6] Broadbent, F. E., 1978: Nitrogen transformation in flooded soils. Soil and Rice., 543—559, (IRRI publication).
- [7] Cheng, H. H., and Kurtz, L. T., 1963: Chemical distribution of added nitrogen in soils. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 27: 312—316.
- [8] Chichester, F. W., Legg, J. O., and Stanford, G., 1975: Relative mineralization rates of indigenous and recently incorporated  $\text{N}^{15}$ -labelled nitrogen. Soil Sci., 120: 455—460.
- [9] Fried, M., and Dean, L. A., 1952: A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Sci., 73.
- [10] Hunter, A. S., and Carter, L. L., 1965: Studies of methods for measuring forms of available soil nitrogen. Soil Sci., 100: 112—117.
- [11] H. Söchtig, and J. Chr. Salfeld, 1976: Dynamics of organic forms of nitrogen in the nitrogen cycle of soil. Soil Organic Matter Studies (IAEA) vol. 1: 285—292.
- [12] Jenkinson, D. S., 1966: The priming action. Report of the FAO/IAEA Technical Meeting.
- [13] Jansson, S. L., 1966: Nitrogen transformation in soil organic matter. Report of the FAO/IAEA Technical Meeting.
- [14] Kai, H., and Wada, K., 1979: Chemical and biological immobilization of nitrogen in paddy soils. Nitrogen and Rice (IRRI publication).
- [15] Legg, J. O., and Stanford, G., 1967: Utilization of soil and fertilizer nitrogen by oats in relation to the available nitrogen status of soils. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 31: 215—219.
- [16] Reddy, K., and Patrick, U. H., 1978: Residual fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 42: 316—318.
- [17] Smith, S. T., Chichester, F. W., and Kissel, D. E., 1978: Residual forms of fertilizer nitrogen in field soils. Soil Sci., 125: 165—169.
- [18] Sauebeck, D., 1966: A critical evaluation of incubation experiments on the priming effect of green manure. Report of the FAO/IAEA Technical Meeting.
- [19] Teruo, Asami, 1971: Immobilization and mineralization of nitrogen compound in paddy soil (part 4). Journal of the Science of Soil and Manure, Japan, 42(2): 74—80.

## THE TRANSFORMATION AND DISTRIBUTION OF ORGANIC AND INORGANIC FERTILIZER NITROGEN IN RICE-SOIL SYSTEM

Huang Dong-mai, Gao Jia-hua and Zhu Pei-li

*(Institute of Soil and Fertilizer, Jiangsu Academy of Agricultural Science)*

### Summary

The application of chemical fertilizer combined with farm manure is popularly practised in chinese farming. In order to clarify the characteristics of nitrogen supply in such a fertilization system, pot experiments were conducted using  $^{15}\text{N}$  labelled crotalaria and ammonium sulphate as organic and inorganic nitrogen sources respectively. Some preliminary results are summarized as follows:

1. Rice plant utilized much more soil nitrogen than fertilizer nitrogen. In all treatments only about one third of the nitrogen assimilated by the rice plant came from the fertilizers. The ratio of soil nitrogen to fertilizer nitrogen taken up by rice plant was closely related to the kinds of soil. In general, the more fertile the soil, the more soil nitrogen was assimilated by rice plant.

2. As ammonium sulphate was applied with crotalaria both at the same nitrogen level, rice absorbed relatively more  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-N}$  in the first 30 days after transplanting. Thereafter, it absorbed approximately equal amount of nitrogen come from ammonium sulphate and crotalaria, the available nitrogen supplying capacity of crotalaria seemed to be potentially similar to that of ammonium sulphate from maximum tillering stage till maturity. In addition, the availability of ammonium sulphate nitrogen revealed more long lasting in the presence of crotalaria.

3. Good correlations were found between the A-value and the crop yields, as well as soil nitrogen uptake by rice plant.

4. Comparative studies on different soils by application of different nitrogen sources showed that the priming effect was only taken place in the case of the application of chemical nitrogen fertilizer, but this effect under green manure applied remains to be studied.

5. Experimental results showed that in combined fertilization, the inorganic nitrogen fertilizer promoted the mineralization of organic nitrogen in green manure, and the amount of immobilized inorganic nitrogen was considerably increased by the existence of organic nitrogen. These mutual effects seemed to be an essential characteristic of such a fertilization system. As a result, the availability of organic fertilizer nitrogen was increased, more of the inorganic nitrogen applied was immobilized and kept in soil.

6. Different fertilization changed the status of the nitrogen balance sheet. Basal application of crotalaria showed that the amount of residual crotalaria nitrogen retained in soil was greater than the amount of crotalaria nitrogen taken up by rice plant. On the contrary, in the ammonium sulphate treatment, the amount of ammonium sulphate nitro-

gen uptake by rice plant was greater than the immobilized portion. The nitrogen balance sheet of combined application showed an intermediate feature between those of crotalaria and ammonium sulphate applied alone. Besides, it was indicated that the loss of chemical nitrogen could be reduced when it was dressed with organic fertilizers.

## 重 印 书 预 告

为应读者迫切要求,科学出版社特重印下列三种书。估计在8—9月出版,希望读者届时与当地新华书店联系购买。

中国农业地理总论

中国科学院地理研究所编著

〈科技新书目〉6期

中国自然地理 地貌

中国科学院《中国自然地理》编委会

〈科技新书目〉6期

土面增温剂及其在农林业上的应用(第二版)

中国科学院地理研究所编著

〈科技新书目〉4—49