

稻田土壤供氮能力的解析研究*

陈德立 朱兆良

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

以太湖地区三种类型水稻土为对象进行的研究表明:(1)风干土淹水培养后,固定态铵平均增加 17ppm,相当于交换性铵增量的 28%。似应将培养后固定态铵的增量与交换性铵增量之和计为土壤氮素的矿化量。(2)田间微区试验中,耕层以下土壤所供应的氮量占稻田土壤供氮量的 16—49%,平均 30%。(3)根据所得结果,讨论了用培养法预测稻田土壤供氮量中存在的问题。

据统计,高产水稻吸收的氮中,约有 50—80% 来自土壤^[5]。因此,土壤供氮量既是决定水稻产量的重要因素,也是估算氮肥适宜用量的主要参数之一。已经提出了许多预测稻田土壤供氮量的方法,但是,其测定值与田间供氮量之间的相关性时高时低^[6],其原因可能比较多。稻田土壤的供氮量是从收获时无氮区水稻吸收的氮量计得的,其中除了土壤来源的以外,显然还有许多其他来源^[6],而且,即使是土壤来源部分,也不仅限于耕层,但是,由于水稻是浅根作物,为预测的目的所进行的土壤测定,通常都限于耕层土样。为了改进测试技术,我们对稻田土壤的供氮能力进行了解析研究。本文报道其中的一部分结果,关于非共生固氮作用对水稻氮素吸收的贡献已另文发表^[7]。

一、试验材料和方法

供试土壤的基本情况见表 1。1984 年春采自麦田。所用的分析方法是:全氮用克氏法;有机质用湿烧法;pH(水土比 1:2.5)用玻璃电极法;交换量用 EDTA、铵盐法^[1];粘粒用吸管法;下文提到的交换性铵为 2MKCl 提取、MgO 蒸馏法;固定态铵用 KOb_r 处理、HF-HCl 提取法^[11]。

为了进行比较分析,对供试的 9 个土壤都进行了培养试验、盆栽试验和田间试验。

(一) 培养试验 风干土淹水密闭、30℃ 培养 2 周,新鲜土则培养 10 周^[9]。

(二) 新鲜土盆栽试验 以磷、钾为底,不施氮肥和有机肥。1984 年 5 月 24 日移栽,7 月 25 日黄熟期收获地上部分和根。品种为广西秀江早,秧龄 22 天。4 个重复。此外,在与盆栽试验完全相同的条件下,同时进行了淹水密闭培养,每个土壤 4 个重复。试验方法详见前报^[10]。这一组培养试验与上述新鲜土恒温培养的主要区别是:培养期间的温度随气温的升降而处于波动状态,当然,有效积温也不同。

(三) 田间试验 在每一块试验田中设一无氮区,种植单季晚稻盐粳 2 号。区内设置无底塑料筒

* 本文系陈德立同志的硕士论文的一部分。

表 1 供试土壤的基本性质(烘干基)

Table 1 Soil properties (on oven-dried basis)

地 点 Location	土壤类型 Soil type	土号 Soil No.	有机质(%) O. M.	全 N(%) T. N.	C/N	pH	粘粒(%) clay ($<1\mu$)	CEC (me/100g)
沙洲	石灰性排水好的水稻土(CW)	CW-1	1.97	0.146	7.81	7.9	12.5	12.9
		CW-2	1.79	0.130	8.00	7.9	14.8	11.5
		CW-3	1.71	0.127	8.00	7.9	13.6	12.4
吴县	非石灰性排水好的水稻土(NCW)	NCW-1	2.81	0.184	8.86	6.1	27.2	19.3
		NCW-2	2.65	0.184	8.37	6.1	29.0	22.2
		NCW-3	2.41	0.169	8.28	6.2	31.5	22.1
常熟	囊水水稻土(I)	I-1	2.67	0.175	8.86	7.8	26.1	20.7
		I-2	3.20	0.215	8.65	7.4	26.6	22.1
		I-3	2.59	0.162	9.26	7.2	29.0	20.2

和 300 目尼龙布包底的塑料筒各 4 个, 分别供测定全层供氮量和耕层供氮量之用。有关本试验的方法已另有报告^[8]。

二、结果和讨论

(一) 培养后土壤固定态铵含量的变化

供试土壤的主要粘土矿物为水云母和蒙脱^[3], 因此具有一定的固定铵的能力。如表 2 所示, 培养前土壤固定态铵的含量在 182—318ppm 之间, 平均 245ppm, 占全氮的 9.9—19.6%, 平均 15.2%, 与本地区已有的结果相近^[2]。用培养后的新鲜土不经风干直接测定固定态铵的结果表明, 除 I-3 号土外, 其量都有明显的增加, 增量在 7—26ppm 之间, 平均 17ppm, 相当于培养后交换性铵增量的 10.5—57.4%, 平均 28%。这表明, 对供试土壤来说, 如果仅以培养后交换性铵的增量计为矿化氮量(这是通常的作法), 将会显著地低估土壤氮素的矿化能力。因为在水稻生长下, 由矿化而逐渐释放出的铵将不断地被水稻所吸收, 因而转入固定态的可能性较小, 而且即使有一部分被固定, 这种新固定的铵也易于在水稻生长的中后期重新被水稻所吸收。由此看来, 应以培养后交换性铵和固定态铵的增量之和计为矿化氮量。同时, 所谓矿化率, 它是土壤有机氮分解性的一个指标, 因此, 在计算时应以有机氮为基数^[6]。现将用不同方法计得的土壤氮素矿化率(指培养试验的结果)和供氮率(指水稻生长试验的结果), 按土壤类型平均示于图 1。在新鲜土水稻盆栽中, 从供氮量与土壤有机氮量计得的供氮率来看, 以石灰性排水好的水稻土(CW)为最高, 非石灰性排水好的水稻土(NCW)略低于石灰性排水好的水稻土, 两者都显著高于囊水水稻土(I)。新鲜土淹水培养中, 以交换性铵的增量和土壤全氮计得的矿化率, 尽管在不同土壤的大小顺序上与盆栽中的基本一致, 但绝对值很低, 不同土壤之间的差异也不大。在风干土淹水培养中, 若仅以交换性铵的增量计为矿化量, 则无论是用全氮或有机氮为基数计得的矿化率, 都是 $NCW > CW > I$, 而与盆栽结果不同。但是, 当以交换性铵与固定态铵的增量之和计作矿化量, 以有机氮为基数时, 则不同土壤的矿化率顺序变为 $CW \approx NCW >$

I, 而与水稻盆栽中的顺序一致。这表明, 对于石灰性排水好的水稻土来说, 由于在培养中有相当大一部分矿化释出的铵转入了固定态 (约占交换性铵增量的 42.5—57.4%), 因而如果仅以交换性铵的增量计作矿化量, 则将显著地低估了它的矿化能力, 从而导致错误的结论。这也部分地解释了以往研究中得到的一种现象, 即在培养试验中, 石灰性排水好的水稻土的矿化率是这三种水稻土中最低的, 但是, 在田间试验中其供氮率却最高^[4]。当然影响田间土壤供氮率的因素很多, 因此, 即使是以交换性和固定态铵总增量与土壤有机氮计得的矿化率, 在不同土壤之间的顺序上, 也与田间土壤的供氮率的顺序不尽相同。例如, 前者的顺序为 $CW \approx NCW > I$, 虽与盆栽结果基本一致, 但与田间条件下 $CW > NCW > I$ 的趋势却不尽一致。这是需要进一步研究的。

表 2 风干土淹水培养后固定态铵含量的变化

Table 2 Contents of fixed ammonium in soils after incubation under submerged condition

土 号 Soil No.	CW			NCW			I			$\bar{X} \pm SD$
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
培养前 ppm	242	246	234	182	196	247	274	271	318	245±41
占全N的%	16.5	18.9	18.4	9.9	10.7	14.6	15.7	12.6	19.6	15.2±3.5
培养后 ppm	267	266	260	193	237	255	293	278	316	262±35
增 量 ppm	25	20	26	11	41	8	19	7	-2	17**±12
为交换性铵增量的%	42.5	42.8	57.4	11.5	51.7	9.7	31.4	10.5	-3.6	28.2±21.7

** 达到 1% 显著水准。

相关统计结果(表 3) 进一步表明, 在风干土培养中, 应将固定态铵增量计入矿化量, 并以有机氮为基数计算矿化率。例如, 在新鲜土培养中, 当以交换性铵增量/有机氮为指标时, 其与盆栽或田间包布筒试验中土壤供氮率的相关系数都高于以交换性铵增量/全N为指标的结果; 在风干土中也有类似趋势。而且, 当以交换性及固定态铵总增量/有机氮为指标时, 其与土壤供氮率的相关系数则达最高值。

(二) 稻田耕层以下土壤的供氮量

田间包布筒中土壤的供氮量, 由于根系被限制在 0—15 厘米土层中, 因此可以计为耕层土壤的供氮量。无底筒中土壤的供氮量, 则由于水稻根系可以向下层伸展, 因而是耕层及其以下土层的总供氮量(或称全层供氮量)。因此无底筒中土壤的供氮量与包布筒中土壤供氮量之差, 即可视为耕层以下土壤的供氮量。试验结果见表 4。耕层以下土壤的供氮量(以地上部吸N量计) 达到 2.0—5.9 斤/亩, 平均 3.2 斤/亩, 占全层供氮量的 16—49%, 平均 30%。这一变幅与有关报道^[12] 相一致。计入根中的氮, 对此比值影响不大。

导致不同土壤耕层以下土壤供氮量不同的原因比较多, 例如, 犁底层的厚度和坚实度, 犁底层及其下一层土壤的含氮量等。在田间对无底筒中 15—30 厘米土壤容重的测定结果表明, 不同土壤差异不大, 都在 1.35—1.49 克/厘米³ 之间。但是, 15—30 厘米土壤全氮含量却与耕层以下土壤的氮素供应有一定的关系。统计表明, 耕层以下土壤的供氮量与 15—30 厘米土壤全氮含量有一定的正相关, 但不显著 ($r = 0.535, n = 9$), 如果以耕层以下土壤的供氮量占全层供氮量的百分率, 与 15—30 厘米土层中的全氮储量占 0—

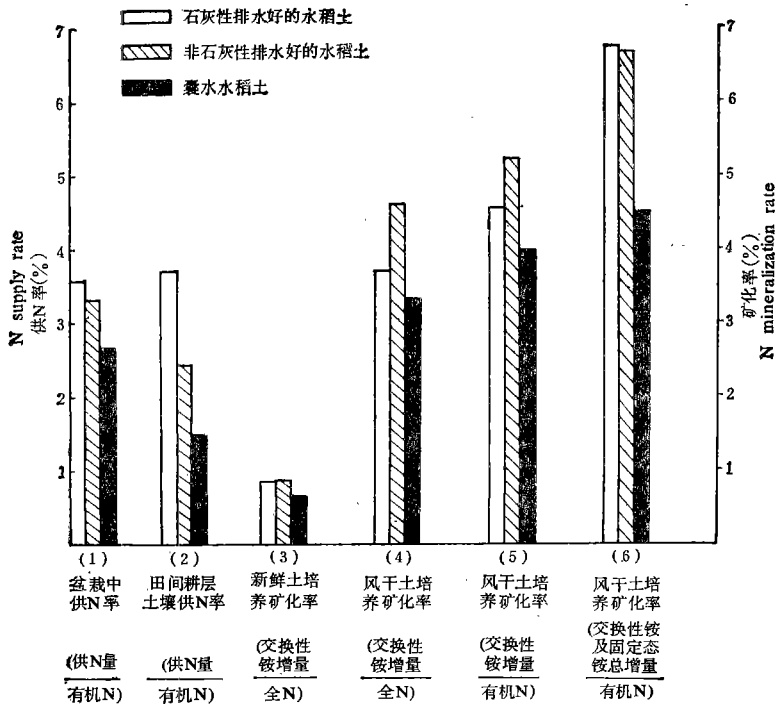


图1 不同方法计得的土壤氮素的矿化率和供氮率

Fig. 1 Percentages of N mineralization and N supply of paddy soils estimated by different methods

表3 淹水培养中土壤氮素的矿化率与种稻下土壤供氮率的相关性 (n = 9)

Table 3 Correlation coefficients between percentage of N mineralization of soil in submerged incubation and percentage of soil N supply under rice growing conditions

变 量 Y	变 量 X					
	新鲜土培养 Incubation with moist soil		风干土培养 Incubation with air-dried soil			
	$\Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{ex}}/\text{T.N}$	$\Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{ex}}/\text{org.N}$	$\Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{ex}}/\text{T.N}$	$\Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{ex}}/\text{org.N}$	$(\Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{ex}} + \Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{fix}})/\text{T.N}$	$(\Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{ex}} + \Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{fix}})/\text{org.N}$
盆栽:						
水稻吸收 N/T.N	0.775*	0.844**	0.600	0.649	0.775*	0.811**
水稻吸收 N/org.N	0.626	0.766*	0.432	0.546	0.651	0.739*
田间包布筒试验:						
水稻吸收 N/T.N	0.388	0.519	0.311	0.421	0.698*	0.798**
水稻回收 N/org.N	0.348	0.500	0.251	0.378	0.646	0.761*

* 达到 5% 显著水准; ** 达到 1% 显著水准; T.N: 土壤全氮; org.N: 土壤有机氮; $\Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{ex}}$: 交换性铵增量; $\Delta\text{NH}_4\text{-N}_{\text{fix}}$: 固定态铵增量。

30 厘米土层中全氮储量的百分率求相关,则相关系数达到 0.847, 达到 1% 显著水准。这表明,耕层以下土壤在全层土壤供氮中的相对贡献,取决于耕层下的一层土壤中全氮的储

表 4 稻田耕层以下土壤的氮素供应(单季晚稻)

Table 4 N supply of subsoil in paddy fields (single cropping rice)

土壤供 N Soil N supply		CW			NCW			I			$\bar{x} \pm SD$
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
以水稻地上部吸 N量计(斤N/亩)	包布筒(A)	10.32	7.04	9.61	6.71	10.00	7.91	6.56	5.69	5.17	7.67±1.90
	无底筒(B)	12.33	10.01	12.69	9.80	12.22	9.87	10.84	9.67	10.21	10.85±1.23
	B-A	2.01	2.97	3.08	3.09	2.22	1.96	4.28	3.98	5.94	3.18±1.07
	(B-A)/B,%	16.3	29.7	24.3	31.5	18.2	19.9	39.5	41.2	49.4	30.0±11.5
	平均	23.4±6.7			23.2±7.2			43.4±5.3			
以全株吸N量计 (斤N/亩)	包布筒(C)	10.28			7.96			6.41			8.22±1.95
	无底筒(D)	13.34			11.02			10.84			11.73±1.39
	D-C	3.06			3.06			4.43			3.52±0.79
	(D-C)/D,%	22.9			27.8			40.9			30.5±9.3
15—30cm 土壤全N%		0.070	0.072	0.077	0.140	0.103	0.109	0.134	0.172	0.120	0.111±0.04

量占包括耕层在内的一定深度土层中全氮总储量的相对比例。

对无底筒中水稻根系分布的观察表明,在 15 厘米以下的土层中仍有不少稻根,但是,0—30 厘米土层中的总根量与包布筒 0—15 厘米土层中的相差不大。例如,对石灰性排水好的水稻土来说,两个处理的总根量分别为每筒 5.46 克和 4.99 克;对于非石灰性排水好的水稻土来说,分别为 6.04 克和 6.49 克;对于囊水水稻土来说,分别为 6.26 克和 6.20 克。这表明,同一土壤中两个处理之间水稻吸收氮量的差别,主要是因为根系分布范围的不同所致。

(三) 培养法预测稻田土壤供氮量中的问题

各种培养法测得的矿化量与水稻盆栽和田间试验中土壤供氮量之间的相关统计结果示于表 5。除土壤全氮外,土壤有机氮以及各种方法测得的矿化量与水稻盆栽中的供氮量之间都有显著或极显著的正相关。但是,这些指标与田间包布筒或无底筒中的供氮量之间都没有显著的相关性。造成各种矿化量测定值与田间供氮量没有显著相关性的原因可以分为两个方面:(1) 田间条件下不同田块上,耕作和管理措施难以控制一致。例如,晒垡和耕耙碎土的不同,这将对于土壤氮素矿化和供应产生强烈的影响。(2) 不同田块之间耕层以下土壤的供氮能力差异较大,因而各种方法测得的耕层土壤的氮素矿化量与田间无底筒中土壤供氮量的相关系数很低,甚至都低于各种培养试验的矿化量与田间包布筒中土壤供氮量的相关性。

此外,不同田块之间其他来源的氮量也可能不同,如灌溉水带入的氮量因各试验点的水质和灌溉量的不同而异。至于非共生固氮作用对当季水稻吸收氮的贡献,根据我们用 ^{15}N 标记土壤进行的试验结果,三种土壤上差异不大,都在 20—23% 之间^[7]。因此,尽管非共生固氮作用对当季水稻提供的氮量占无氮区水稻总吸氮量的比例比较大,但它不致影响到培养中的矿化量与盆栽或田间试验中土壤供氮量之间的相关性。

虽然培养法通常被认为是预测稻田土壤供氮量的一个比较好的方法,但是从上述结果来看,即使是采用新鲜土恒温或波动温度培养,或者用风干土培养,以交换性和固定态铵的增量之和计为矿化量,似乎都难以达到较高的预测准确性。

表 5 矿化量与供氮量的相关系数 ($n = 9$)

Table 5 Correlation coefficients between the amounts of N mineralized and N supply

供N量, Y Soil N supply	变 量 X					
	土壤全 N Soil T. N	土壤有机 N Soil org. N	矿化量 N mineralized			
			1	2	3	4
水稻盆栽中	0.587	0.680*	0.910**	0.862**	0.872**	0.842**
田间包布筒	-0.413	-0.326	-0.065	0.275	-0.039	0.488
田间无底筒	-0.447	-0.398	-0.032	-0.058	-0.257	0.215

1. 新鲜土恒温培养, 交换性铵的增量; 2. 新鲜土波动温度培养, 交换性铵的增量; 3. 风干土恒温培养, 交换性铵的增量; 4. 风干土恒温培养, 交换性及固定态铵的增量之和。

* 达到 5% 显著水准, ** 达到 1% 显著水准。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤所编, 1978: 土壤理化分析。174—176 页, 上海科技出版社。
- [2] 文启孝、张晓华, 1986: 土壤中的固定态铵。中国土壤学会土壤农业化学专业委员会、土壤生物及生物化学专业委员会编, 我国土壤氮素研究工作的现状和展望。34—45 页, 科学出版社。
- [3] 许冀泉、杨德涌、蒋梅茵, 1979: 太湖地区水稻土的粘土矿物。水稻土学术会议论文集(英文版) 480—485 页, 科学出版社。
- [4] 朱兆良、蔡贵信、徐银华、张绍林, 1984: 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, 第 21 卷 1 期, 29—36 页。
- [5] 朱兆良, 1985: 我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展。土壤, 第 1 期, 2—9 页。
- [6] 朱兆良, 1986: 土壤氮素的矿化和供应。中国土壤学会土壤农业化学专业委员会、土壤生物及生物化学专业委员会编, 我国土壤氮素研究工作的现状和展望, 14—27 页。科学出版社。
- [7] 朱兆良、陈德立、张绍林、徐银华, 1986: 稻田非共生固氮对当季水稻吸收氮的贡献。土壤, 第 5 期, 225—229 页。
- [8] 陈德立、朱兆良, 1986: 稻田耕层以下土壤的氮素供应。土壤, 第 1 期, 34—35 页。
- [9] 蔡贵信、张绍林、朱兆良, 1979: 测定稻田土壤氮素矿化过程的淹水密闭培养法的条件试验。土壤, 第 6 期, 234—240 页。
- [10] 蔡贵信、朱兆良, 1983: 水稻生长对土壤氮素矿化的影响。土壤学报, 第 20 卷 3 期, 272—278 页。
- [11] Bremner, J. M. (曹亚澄译, 1981), 1965: 无机态氮。土壤氮素分析法, 94—103 页。农业出版社。
- [12] Greenland, D. J., and I. Watanabe, 1982: The continuing nitrogen enigma. Trans. 12th Inter-Congr. Soil Sci., 5: 123—137。

ANALYTICAL STUDIES ON THE NITROGEN SUPPLYING CAPACITY OF PADDY SOILS

CHEU Deli and ZHU Zhaoliang

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

Nitrogen supplying capacity of three types of paddy soils in Tai-lake region were studied. Results obtained showed that (1) the mean value of the increments of clay mineral-fixed ammonium after anaerobic incubation of 9 air-dried soil samples was 17 ppm, which was equivalent to 28% of the increment of the exchangeable ammonium. It seems that the sum of the increments of exchangeable and clay mineral-fixed ammonium should be taken as the nitrogen mineralization capacity of the soils capable of fixing ammonium; (2) results obtained in the field microplot experiments revealed that the contributions of subsoil to the nitrogen supplying capacity of the paddy fields ranged from 16% to 49%, with a mean value of 30%; and (3) difficulties in the prediction of nitrogen supplying capacity of a paddy field with incubation technique are discussed.