

水稻生长对土壤氮素矿化的影响*

蔡贵信 朱兆良
(中国科学院南京土壤研究所)

淹水条件下,土壤氮素的矿化是土壤有效积温的函数^{1,2}。用淹水密闭培养法,预测田间种稻下土壤氮素的矿化量和矿化过程时,其准确性受到许多因素的影响。为了明确水稻生长对土壤氮素矿化的影响程度,以及不同季别的水稻在这方面的异同,我们进行了下述试验。

一、试验材料和方法

1. 供试土壤。爽水水稻土(黄泥土)和囊水水稻土(青紫泥)的耕层土样,于1981年5月分别采自江苏省吴县和吴江县,采样时田间生长元麦。其基本性质见表1。

表1 供试土壤的基本性质(烘干基)
Table 1 Soil properties (oven-dried basis)

土壤名称 Soil	pH (H ₂ O)	全 N (%) Total N	速效磷* (P, ppm) Avail. P	粘粒 (<0.001mm) (%) Clay
黄泥土 (爽水水稻土) Well-drained paddy soil	5.6	0.200	44.6	28.3
青紫泥 (囊水水稻土) Ill-drained paddy soil	5.6	0.209	4.1	18.5

* 0.5 M NaHCO₃ 法, extraction

2. 试验处理。分为种单季晚稻,双季早稻—双季晚稻,和淹水密闭培养(不种稻)三个处理。

(1) 水稻盆栽试验。为了避免风干对土壤氮素矿化的强烈影响,试验用新鲜土进行。用手将土样分成2—3厘米的土块,挑出植物残体和杂物。混匀土样,称取相当于2.1公斤烘干重的新鲜土样于直径15厘米、高18厘米的白色瓷盆中,5月27日淹水,盆底不渗漏。5月29日施入磷、钾溶液,每盆用量为P₂O₅和K₂O各0.5克,与上层5厘米土壤略加搅混。不施氮肥和有机肥。当天移栽水稻,每盆3穴,每穴3株。单季晚稻的品种为单八,双季早稻为原丰早。每个处理设24盆,供6次采样用,每次采3盆(8月5日采4盆),其余盆钵为备用盆。种双季早稻的盆钵,在8月5日早稻成熟时,拔出植株后,将盆内土壤搅成浆状,通过1毫米的筛,以除去根。然后将土壤充分混匀,再分别称取相当于2.1公斤烘干土的浆状土样于每一盆钵中,8月7日移栽双季晚稻,品种苏梗7号。10月30日单季晚稻和双季晚

* 参加本工作的还有徐银华、张绍林两位同志,谨致谢意。

稻成熟, 结束试验。试验在网室中进行。

在 6 月 12 日和 7 月 6 日的两次采样中, 连根拔出植株后, 再用铁丝耙捞出土中的粗根供分析用。在此后的 4 次采样中, 则将土壤搅成浆状, 使通过 1 毫米筛, 从筛出部份中挑出粗根。过筛后的土壤供铵态氮测定用 (2NKCl 提取、MgO 蒸馏法)。将植株分为地上部份和根, 在 80℃ 烘干, 用克氏法测定全氮。

在试验过程中, 于每天 6 时和 14 时记录盆内正中土表下 5 厘米处的温度。

(2) 淹水密闭培养。在与盆栽完全相同的条件下进行, 方法是: 称取相当于 125 克烘干重的盆栽用新鲜土块于直径 6 厘米、高 11 厘米的塑料瓶中, 加入磷、钾溶液, 用量以单位土重计与盆栽相同, 不搅动土壤, 塞紧瓶塞并用塑料胶布密封。每种土装 18 瓶, 埋入装土淹水而不种稻的上述规格的 6 个盆钵中, 每盆内 3 瓶。在每次采样时, 取出同一盆内的三个密封瓶, 测定铵态氮。

二、试验结果和讨论

各次取样测得的土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$ 量和水稻累积氮量列于表 2 和表 3。由此计得的土壤氮素矿化量列于表 4。

表 2 土壤铵态氮的含量(毫克 N/盆)
Table 2 Content of $\text{NH}_4\text{-N}$ in soil (mg N/pot)

土 壤 Soil	处 理 Treatment	采样日期 (day/month) Sampling date					
		12/6	6/7	5/8	31/8	28/9	30/10
黄 泥 土 Well-drained paddy soil	双 季 稻 Double-cropping rice	12.5	6.0	7.1	9.5	6.0	3.5
	单 季 晚 稻 Single-cropping rice	12.7	6.9	6.4	8.5	3.3	2.5
青 紫 泥 Ill-drained paddy soil	双 季 稻 Double-cropping rice	12.0	3.8	5.5	6.0	3.9	2.7
	单 季 晚 稻 Single-cropping rice	8.4	5.7	5.6	6.3	2.5	1.8

注: 淹水前黄泥土和青紫泥的铵态氮含量分别为每盆 3.8 和 2.5 毫克。

Note: The content of $\text{NH}_4\text{-N}$ in well-drained and ill-drained paddy soils before flooding is 3.8 and 2.5 mg/pot, respectively

应当说明的是, 双季稻处理的各盆土壤, 在 8 月 5 日收获双季早稻后, 为了除去土中的根继续种双季晚稻, 将土壤进行了强烈的搅拌和过筛, 因而产生了显著的“机械搅拌效果”^[3], 促进了土壤氮素的矿化。因此, 这一处理的双季晚稻试验阶段的结果, 不能用来研究种稻对土壤氮素矿化的影响, 也不能用来比较不同季别水稻的生长对土壤氮素矿化的影响的异同。我们只是把结果列在表 4 中, 但不用来进行对比和讨论。实际讨论中, 只采用至 8 月 5 日的前三次结果。

表3 水稻累积氮量* (毫克 N/盆)
Table 3 Nitrogen in rice plant (mg N/pot)

土 壤 Soil	处 理 Treatment	部 位 Plant part	采样日期 (day/month) Sampling date					
			12/6	6/7	5/8	31/8	28/9	30/10
黄泥土 Well-drained paddy soil	双季稻** Double-cropping rice	地上部 (A) Tops	30.6	77.8	149.3	70.7	105.3	129.9
		根 (B) Roots	7.9	16.9	27.2	22.6	19.8	21.9
		B/(A + B)	0.20	0.18	0.15	0.24	0.16	0.14
	单季晚稻 Single-cropping rice	地上部 (A) Tops	28.9	74.3	119.0	142.3	169.9	190.8
		根 (B) Roots	8.7	24.7	52.2	69.1	71.9	79.0
		B/(A + B)	0.23	0.25	0.30	0.33	0.30	0.29
青紫泥 Ill-drained paddy soil	双季稻** Double-cropping rice	地上部 (A) Tops	21.6	52.7	99.3	40.3	73.3	78.4
		根 (B) Roots	4.7	12.4	29.3	17.2	16.3	20.7
		B/(A + B)	0.18	0.19	0.23	0.30	0.18	0.20
	单季晚稻 Single-cropping rice	地上部 (A) Tops	24.7	46.5	79.2	105.8	117.4	128.4
		根 (B) Roots	7.4	17.9	38.6	57.1	50.5	54.2
		B/(A + B)	0.23	0.28	0.33	0.35	0.30	0.29

* 未扣除秧苗中的氮。双季早稻、双季晚稻和单季晚稻的秧苗地上部含氮量，每盆分别为 21.9, 13.8 和 23.9 毫克，秧苗的根中氮皆为 1.9 毫克。

** N in transplanting seedlings is not deducted.

** 8 月 5 日以前为双季早稻，此后为双季晚稻。

** The double-cropping early rice grew in the period from May 29 to August 5, and the double-cropping late rice from August 7 to October 30, while the single-cropping rice grew from May 29 to October 30

在计算种稻下土壤氮素的矿化量时，也计入根中的氮是较为合理的。但是，由于采取根样比较麻烦，因此，通常只以地上部份氮作为计算的基础。我们对这两种计算方法所得的结果作了比较。

1. 在以全株氮为基础计算时，种稻下土壤氮素的矿化量高于不种稻的密闭培养结果，而且，随着水稻生育期的推移，这种差别更趋明显。例如，在 6 月 12 日及 7 月 6 日的最初两次测定中，种稻下土壤氮素的矿化量，与密闭培养的结果相近。但是，到 8 月 5 日双季早稻成熟、单季晚稻拔节时，种稻下土壤氮素的矿化量比不种稻的密闭培养结果高 28.9—61.8%，至 10 月 30 日单季晚稻成熟时，高出的程度进一步扩大到 53.8—55.1%。即水稻的生长显著地促进了土壤氮素的矿化。种稻的两个处理间土壤氮素的矿化量则没有统计上的差异。水稻生长促进了土壤氮素的矿化，或者确切地说是促进了土壤氮素的表现矿化作用。造成这一结果的原因可能有：(1) 水稻根际效应对土壤氮素矿化的促进；(2) 水稻对矿化氮的吸收，从而减少了矿化氮的损失；(3) 水稻利用了一部份当季固氮作用所固定的氮素⁽⁴⁾；(4) 淹水密闭培养中，可能仍有少量矿化氮损失了。

2. 在不计入根中氮计算土壤氮素的矿化量时，水稻生长对土壤氮素矿化的促进作用即不能测出。在各次测定中，无论是种双季早稻或者种单季晚稻，土壤氮素的矿化量都与淹水密闭培养的矿化量相近，它们之间的差异皆未达到统计显著程度。因此，在不计入根中氮时，种稻下土壤氮素的矿化量与不种稻的淹水密闭培养的结果相一致，带有一定的偶然性。另外，从不同季别的水稻来看，虽然 6 月 12 日和 7 月 6 日两次测定中，种双季早稻

表 4 土壤氮素的矿化量(毫克 N/100 克烘干土)
Table 4 N mineralized from soil (mg N/100g soil, oven-dried basis)

土 壤 soil	处 理 Treatment	采样日期 (day/month) Sampling date					
		12/6	6/7	5/8	31/8	28/9	30/10
计入根中氮时*							
黄泥土 Well-drained paddy soil	双季稻 Double-cropping rice	1.11a	3.48a	7.43a (3.71)***	11.6a	12.9a	14.1a (7.05)
	单季晚稻 Single-cropping rice	0.99abc	3.63a	7.04a (3.52)	9.06b	10.3b	11.6b (5.80)
	淹水密闭培养 Sealed incubation	1.03ab	2.84ab	5.46b (2.73)	6.52d	7.63d	7.54d (3.77)
青紫泥 Ill-drained paddy soil	双季稻 Double-cropping rice	0.57bc	2.03bc	5.13bc (2.46)	7.40c	8.84c	9.23c (4.42)
	单季晚稻 Single-cropping rice	0.58bc	1.99bc	4.53c (2.17)	6.70d	6.77e	7.43d (3.56)
	淹水密闭培养 Sealed incubation	0.53c	1.87c	3.17d (1.52)	4.41e	4.10f	4.79e (2.29)
不计入根中氮时**							
黄泥土 Well-drained paddy soil	双季稻 Double-cropping rice	0.82ab	2.77a	6.22a (3.11)	9.39a	10.9a	11.9a (5.95)
	单季晚稻 Single-cropping rice	0.66abc	2.54ab	4.65bc (2.33)	5.89c	6.93b	7.89b (3.95)
	淹水密闭培养 Sealed incubation	1.03a	2.84a	5.46ab (2.73)	6.52b	7.63b	7.54bc (3.77)
青紫泥 Ill-drained paddy soil	双季稻 Double-cropping rice	0.44bc	1.53c	3.83cd (1.83)	5.38c	6.85b	7.03c (3.36)
	单季晚稻 Single-cropping rice	0.32c	1.22c	2.78e (1.33)	4.08d	4.45c	4.94d (2.36)
	淹水密闭培养 Sealed incubation	0.53bc	1.87bc	3.17de (1.52)	4.41d	4.10c	4.79d (2.29)
土壤有效积温(°C·日)**** Cumulative effective temp. in soil, (°C·day).		157	494	969	1328	1578	1684

* 矿化氮量=(水稻全株累积氮-秧苗氮)+(采样时土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$ - 淹水前土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$)

* $\text{N mineralized} = (\text{N in tops and roots-N in transplanting seedlings}) + (\text{NH}_4\text{-N in rice-growing soil-NH}_4\text{-N in soil before flooding})$

** 同*,但以地上部份累积氮代替全株累积氮。

** Same as in the note *, except the N in tops and roots was substituted with N in tops only.

*** 括号内数字为矿化系数(%)。

*** Figures in parentheses refer to the mineralization coefficient of soil N.

**** 有效积温以土表下 5 厘米处的日平均土温减去 15°C 后累计而得。每栏中附有一个相同字母的数值之间,其差异未达到 5% 显著水准。

**** Cumulative effective temperature in soil = $\Sigma(T-15)$, while T is the mean temperature in soil at a depth of 5 cm in each day. Figures in each column followed by a same letter are not significantly different at the 5% level.

与种单季晚稻的土壤氮素矿化量没有差异,但是在8月5日的测定中,两种土壤上双季早稻处理的土壤氮素矿化量都高于单季晚稻的处理,这与包括根中氮计算矿化量时的情况不同。这是由于双季早稻的根中氮占全株氮的比例低于单季晚稻所致(表3)。在田间条件下,由于根中氮所占的比例很小,不同季别水稻生长下土壤氮素矿化量的差异可能不会这样大。

3. 从不同类型的土壤来看,尽管供试两种土壤的全氮和 pH 相近,而且囊水水稻土青紫泥的粘粒含量还低于爽水水稻土黄泥土(表1),但前者的氮素矿化系数仍然明显低于后者,这与前报的结果是一致的^[4]。囊水水稻土氮素矿化系数低,可能与在排水不良条件下形成的土壤有机质的性质有关,当然,也不能排除生物活性低这一因素。

4. 土壤氮素矿化有效积温式中的参数: 根据表4数据,计算了土壤氮素矿化有效积温式 $Y = kX^n$ 中的 k 和 n 值,如表5。式中 Y 为氮素矿化量, X 为土壤有效积温。双季稻处理,在8月5日以后有土壤搅拌的强烈影响,因此,只以双季早稻中的三次测定结果进行计算。

表5 土壤氮素矿化有效积温式中的常数

Table 5 Parameters in the equation of N mineralization of soil versus cumulative effective temperature in soil

土 壤 Soil	处 理 Treatment	以水稻全株吸氮量为基础*			以地上部份吸氮量为基础**		
		k	n	r^{***}	k	n	r^{***}
黄泥土 Well-drained paddy soil	双季早稻 Double-cropping early rice	0.00570	1.04	0.999	0.00298	1.11	0.999
	单季晚稻 Single-cropping rice	0.00600	1.02	0.998	0.00414	1.02	0.997
	淹水密闭培养 Sealed incubation	(0.0138	0.86	0.998)****			
青紫泥 Ill-drained paddy soil	双季早稻 Double-cropping early rice	0.00130	1.20	0.998	0.00111	1.18	0.998
	单季晚稻 Single-cropping rice	0.00231	1.09	0.998	0.00092	1.16	0.999
	淹水密闭培养 Sealed incubation	(0.00575	0.91	0.992)****			

*,** 计算方法见表4的附注*及**。*** $\log Y$ 与 X 的相关系数, Y 为矿化量, X 为有效积温。

*,** See the foot-notes * and ** in Table 4.

*** r is the correlation coefficient of $\log Y$ versus X , where Y refers to the N mineralized, and X the cumulative effective Temperature in soil.

**** 括号内的数值为淹水密闭培养下, $\text{NH}_4\text{-N}$ 释放量与有效积温 X 的方程式中的相应参数。

**** Figures in parentheses are the parameters in equation of $\text{NH}_4\text{-N}$ released in sealed incubation and the cumulative effective temperature, X .

为了预测稻田土壤的氮素矿化过程,需要求出矿化参数 k 和 n 值。我们设想,对于同一类型的水稻土来说,是否可以先求得一个平均 n 值,以适用于该类土壤的不同稻田。这样,就只需要针对某一块稻田,研究出一种简便的方法以求出 k 值,即可建立起该田土壤的氮素矿化式,并根据水稻不同生育阶段的有效积温,预测田间土壤的氮素矿化过程。

从表5的结果来看,对同一土壤来说,不管采用那种计算矿化量的方法(计入根中氮

或不计入根中氮),在种稻下(无论是双季早稻或是单季晚稻)其 n 值差别都不大,黄泥土在 1.02—1.11 之间,青紫泥在 1.09—1.20 之间。但是,种稻下测得的 n 值都明显地大于淹水密闭培养法的 n 值。因此,密闭培养法测得的矿化参数 n 值,恐难应用于田间。但是,由某一季别水稻生长下测得的 n 值却可以适用于另一季水稻。

从上述想法出发,我们汇集了历次试验测得的苏州地区黄泥土的 n 值。1978 年在田间双季早稻无氮区测得的 n 值为 0.93^[1], 1979 年用新鲜土进行的盆栽试验中,两个黄泥土的 n 值分别为 1.03 和 1.27^[4], 本次试验中为 1.11 和 1.02 (以不计入根中氮为基础计算)。考虑到 n 值测定中固有的误差,我们认为取其平均值可能更加可靠些,计得平均值为 1.07, 标准差 0.13, 变异系数 12%。看来,对同一类型的土壤来说, n 值的变异不大。当然,进一步进行田间观测以修正 n 值,仍是必要的。那么,如果对其他类型的水稻土,也求出平均 n 值,则稻田土壤氮素矿化过程的预测工作,就会得到进一步的简化。

三、结 语

1. 水稻生长对土壤氮素的矿化有明显的促进作用。但是,不同季别的水稻,在这方面的影响程度则差别不大。因此,在某一季水稻生长下测得的土壤氮素矿化式中的参数,可以应用于另一季别的水稻。淹水密闭培养法测得的矿化参数 n 值低于种稻的处理,因而可能难以用来预测田间种稻条件下的氮素矿化过程。

2. 无论是种稻下或淹水密闭培养下,囊水水稻土的矿化系数都显著低于爽水水稻土。

参 考 文 献

- [1] 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,6期 234—240页。
- [2] 吉野 喬、出井嘉光,1977: 土壤窒素供給力の有効積算温度による推定法について。日本農業試験場研究報告,25号,1—62頁。
- [3] 吉野 喬、鬼鞍 豊,1980: 稻作期間における土壤窒素供給力の地域的特徴及びその推定方法。日本農業試験場研究報告,31号,73—86頁。
- [4] Cai Gui-xin, Zhang Shao-lin, Zhu Zhao-liang, 1981: Characteristics of nitrogen mineralization of paddy soils and their effect on the efficiency of nitrogen fertilizer. In: Institute of Soil Science, Academia Sinica (editor) Proc. of Symposium on Paddy Soil, 793—799. Science Press, Beijing, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- [5] Yoshida, T., Yoneyama, T., 1980: Atmospheric dinitrogen fixation in flooded rice rhizosphere determined by the N-15 isotope technique. Non-Symbiotic Nitrogen Fixation Newsletter, 8: (1), 4—17.

EFFECT OF RICE GROWTH ON THE MINERALIZATION OF SOIL NITROGEN

Cai Guixin and Zhu Zhaoliang

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

The effect of rice growth on the mineralization of soil nitrogen was investigated by pot experiment and sealed anaerobic incubation. The results obtained are summarized as follows.

Except in the initial stage of mineralization, the nitrogen mineralized from soil organic matter calculated from the sum of nitrogen in whole plant (including roots) and ammonium-N in soil under rice growing condition was 29—62% higher than that in sealed anaerobic incubation being carried out under the same conditions with pot experiment, which shows that the growth of rice plant can considerably promote the mineralization of soil nitrogen.

The mineralization rate and pattern of nitrogen in soil under single-cropping rice were not significantly different from those in soil under double-cropping early rice, so long as the comparison was made under the same cumulative effective temperature. Thus, the parameters in the equation of nitrogen mineralization in soil are not significantly varied with different varieties of rice planted on the soil.

The mineralization coefficient of nitrogen of ill-drained paddy soil was much lower than that of well-drained paddy soil, either in the case of growing rice or in the anaerobic incubation.