

太湖地区主要土壤中的固定态铵 及其有效性

文启孝 张晓华 杜丽娟 吴顺龄

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

测定了太湖地区主要土壤中固定态铵的储量和表土的固铵能力,并通过盆栽试验研究了它们的有效性。

土壤的固定态铵含量和表土的固铵能力因母质而异,长江冲积物发育的土壤最高,次为黄土状物质的,第四纪红色粘土的最低。各土壤0—20厘米土层中的固定态铵总量平均占全氮总量的18.5%,0—100厘米土体中占34%。

各土壤“固有的”固定态铵的有效性差异较大,视土层等的不同,在0—13%间。“新固定”的来自肥料或土壤有机质矿化释出的铵则很高,一般均能被当季作物完全吸收利用。渍水条件并不能提高固定态铵的有效性。讨论了铵的固定作用在土壤氮素肥力中的意义;指出,由于铵的固定作用和不同土壤的固铵能力各异,常用的淹水培育法所得到的土壤氮素矿化量值不但一般偏低,而且难于进行相互比较。

氮素是作物最主要的营养元素之一。在太湖地区,水稻吸收的氮素主要来自土壤。已经知道,作物吸收的土壤氮大部分来自土壤有机质的矿化,部分来自非共生固氮以及降水和灌溉水,另部分可能来自土壤中原有的矿质态氮,包括固定态铵。但是,上述各种来源的氮在土壤自然供氮量中的贡献却不清楚。有的研究者为方便起见,把作物吸收的氮看作全部来自土壤有机氮的矿化,并把土壤氮素全部看作是以有机态存在,从而计算“土壤氮素矿化率”。显然,这样得到的数值并不反映实际情况,欲获得较准确的土壤氮素矿化率的数值,除了要知道非共生固氮和水循环中的氮等的贡献外,也需要知道土壤中固定态铵在土壤自然供氮量中的贡献。为此,我们研究了:(1)太湖地区主要土壤的固定态铵含量和固铵能力;(2)这些固定态铵对水稻和小麦(及小米)的有效性。本文报道所获得的结果,并讨论了固铵作用在土壤氮素肥力中的意义。

一、材料和方法

1. 供试土样 分析用土壤包括黄泥土、白土、夹砂土、乌栅土、紫泥土、红壤性水稻土等。它们于1983年4—5月分别取自本区的一些麦田。这些土壤分别发育于黄土状物质、长江冲积物、凝灰岩风化物和第四纪红色粘土等。采样深度为0—100厘米,按发生层次逐层采取。土样经风干磨细过100孔筛后备用。

盆栽用土壤 1984 年 5 月分别采自无锡八士(白土)和太仓浏河(夹砂土)的麦田表层。

幼苗试验用土壤除白土(武进)表土外,还包括两个土壤母质——下蜀黄土和第四纪红色粘土。分别取上述三个土样各 2500 克,按水土比为 4:1 分别加入 1N NH_4Cl 溶液,搅拌并放置一周后,用 1N CaCl_2 溶液洗涤土壤以去除多余的氯铵,直至溶液中检查不出 NH_4^+ 为止,然后用水洗涤,直至无 Cl^- 为止,取上述处理后的土样风干部分供分析用,其余过 20 孔筛后供幼苗试验用。

2. 幼苗试验 取供试土样若干份,每份 290 克,分别加入 P、K 和微量元素,拌匀后置于一直径为 15 厘米的小盆底中。每个土样分别以水稻和小麦为供试作物。每个处理重复 4 次。每盆播种水稻(南京 11 号)或小麦(7317)100 粒。约 30 天后,作物生长停止,随即收获。仔细挑净根后,取出部分土样供分析用。将同一处理的其余土样混合均匀后分成 4 份,每份土样分别加入 P、K、Ca 和微量元素后,仍置原小盆底中,分别播种水稻(100 粒/盆)或小米(150 粒/盆),至各处理上的作物均已停止生长后收获。如上述挑净根后将土样风干磨细备用。

取上述分别种植了两季水稻或旱作的白土表土(包括经氯铵处理的和未处理的),分别加水模拟种植水稻或旱作的水分状况,于 30°C 下培育一个月后,风干、磨细过 100 孔筛,然后测定其中的固定态铵含量。

3. 盆栽试验 包括两种土壤、两种施肥水平(施氮肥和不施氮肥)、两种作物(水稻、小米)共 8 个处理。每个处理重复 8 次。每盆盛 1.1 公斤。水稻(南京 11 号)栽 6 株(秧龄 20 天);小米每盆定苗 9 株。在作物生育期间,定期取出一盆,挑去其中的根并混匀后,采取部分土样,经风干、磨细过 100 孔筛后供分析用。为了解作物收获后土壤中固定态铵含量的变化,各处理待作物成熟收获后均分别留一盆令土壤不经任何扰动,并继续保持作物生长期间同样的水份状况,于温室中放置 1 个月后再风干、磨细供分析用。

4. 土壤的固铵能力 取土样 20 克,加入 100 毫升硫酸铵溶液(浓度为 40ppm $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-N}$),混匀,放置 3 天后,加入 100 毫升 2N KCl 溶液,振荡 1 小时后,离心,用水洗涤 1 次,离心,继用酒精洗涤至无 Cl^- 为止,土样风干磨细过 100 孔筛后,测定其固定态铵含量。根据硫酸铵处理前后土壤中固定态铵含量的差值计算肥料氮的固定率。

5. 分析方法 土壤全氮用克氏法测定;交换性铵用 1N KCl 提取,用蒸馏法测定;固定态铵用 Bremner 法^[4]测定。

二、结 果

(一) 表土的固定态铵含量和固铵能力

各表土的固定态铵含量因母质及成土作用的不同而差异较大。发育于长江冲积物和凝灰岩风化物的沟干土、夹砂土、乌栅土和紫泥土等最高,在 260—330ppm 之间;发育于黄土状物质者次之,在 200—250ppm 间;发育于第四纪红色粘土者最低,在 140ppm 以下。这和各土壤母质的粘土矿物组成是一致的。许冀泉等曾指出,长江冲积物的粘土矿物以水云母和蒙脱为主,并含不少的绿泥石;黄土状物质中以水云母为主,同时有不少的蛭石和高岭石^[4];而第四纪红色粘土中则以高岭石和伊利石为主。同时发育于黄土状物质的黄泥白土和淀煞白土,一方面由于成土过程中粘粒遭到淋失,同时矿物也有某些改变,另一方面也可能由于土壤中的交换性铵量较低,因而其固定态铵量较其它发育于黄土状物质上的土壤低。各表土的固铵能力大体上和其固定态铵含量的次序一致,长江冲积物发育的土壤最强,黄土状物质的次之,第四纪红色粘土发育的最低,遭受较强风化和淋溶

作用的淀煞白土也很低,后两者几乎不再能固定任何铵态氮(表 1)。

表 1 表土的固定态铵含量和固铵能力

Table 1 Fixed NH_4^+ -N content and NH_4^+ fixing power of some surface soils

土壤编号 Soil No.	土壤 Soil	母质 Parent material	采集地点 Location	固定态铵 Fixed NH_4^+ -N		固铵能力 NH_4^+ -fixing power	
				ppm	占全 N% % of total N	ppm	固定% % of applied N
1	沟干土	长江冲积物	上海颛桥	322	25.8	116	58.0
2	夹砂土	同上	太仓新毛	263	21.8	142	71.2
3	乌栅土	同上	常熟辛庄	278	13.6	125	62.7
4	紫泥土	凝灰岩风化物	平湖良种场	326	19.0	51	25.6
5	黄泥土	黄土状物质	吴县光福	218	13.6	53	26.5
6	黄泥土	同上	无锡东亭	249	16.5	32	16.0
7	鱗血白土	同上	武进运村	216	14.6	79	39.6
8	黄泥白土	同上	无锡八士	168	16.1	85	42.3
9	淀煞白土	同上	长兴环桥	176	10.5	2	1.0
10	红壤性水稻土	第四纪红色粘土	安吉南湖	136	12.3	4.6	2.3

(二) 固定态铵的剖面分布

固定态铵含量和土壤全氮不同并不随剖面深度而降低,反之,由于底土层的质地常较粘重,因而底土层中的固定态铵含量常较表土为高;白土的特征是,剖面中的白土层因受机械淋溶等缘故,因而该土层中的固定态铵量最低(图 1)。

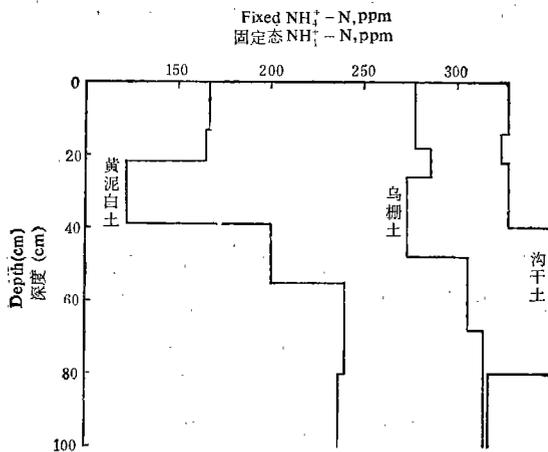


图 1. 固定态铵剖面分布

Fig. 1. Distribution of fixed NH_4^+ -N in soil profile

由于固定态铵含量并不像全氮一样随剖面深度而降低,因而其相对含量(占全N的%)恒随剖面深度而升高。就供试的7个土壤剖面说,表土中固定态铵的相对含量平均为

17.9%；W层则增至 32.8%；底土层（80 厘米→）更高为 54%。可见，固定态铵是本区土壤氮素中的一个不可忽视的部分。这一点可以从土体中氮素储量方面的资料上看出来。表 2 表明，所研究的 7 个土壤剖面，0—20 厘米土层中的氮素总储量平均为每公顷 3559 公斤，其中 18.5% 为固定态铵；0—100 厘米土体中氮素的总储量约为 0—20 厘米土体中的 3 倍，其中 34% 即以固定态铵存在（表 2）。

表 2 几种水稻土 0—20cm 和 0—100cm 土体中的全 N 和固定态铵储量*

Table 2 Total N and fixed $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in the soil layer of 0—20 cm and 0—100cm of some paddy soils

土壤编号 Soil No.	0—20cm			0—100cm		
	T. N (kg/ha)	Fixed $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (kg/ha)	Fixed $\text{NH}_4^+\text{-N}$ / T. N %	T. N (kg/ha)	Fixed $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (kg/ha)	Fixed $\text{NH}_4^+\text{-N}$ / T. N %
1	3248	914	28.1	10974	5228	47.6
2	3073	623	20.3	10189	3932	38.6
3	4772	690	14.0	14543	3908	26.9
4	4058	786	19.4	12907	4658	36.1
6	3612	603	16.7	11592	3104	26.8
7	3689	556	15.1	9535	2691	28.2
8	2464	443	18.0	7752	3041	39.2
平均	3559	659	18.5	11070	3794	34.3

* 各土层的容重系根据刘元昌同志的资料。

(三) 固定态铵的有效性

图 2、3 为白土和夹砂土表土中的固定态铵在作物生育期中及收获后的变化情况。由图可见：（1）固定态铵在作物生育期中处于不断的变动中。无论在种植旱作或种植水稻情况下，收获时土壤中的固定态铵含量均较种植作物前为低，表明作物利用了一部分固

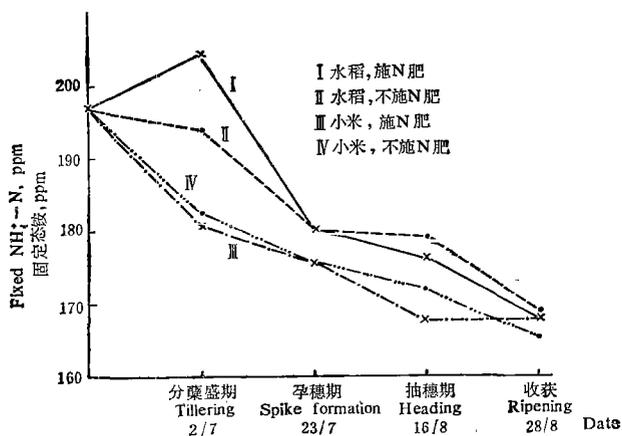


图 2 白土固定态铵含量的变化

Fig. 2 Change of fixed $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in albic paddy soil during the course of one cropping rice

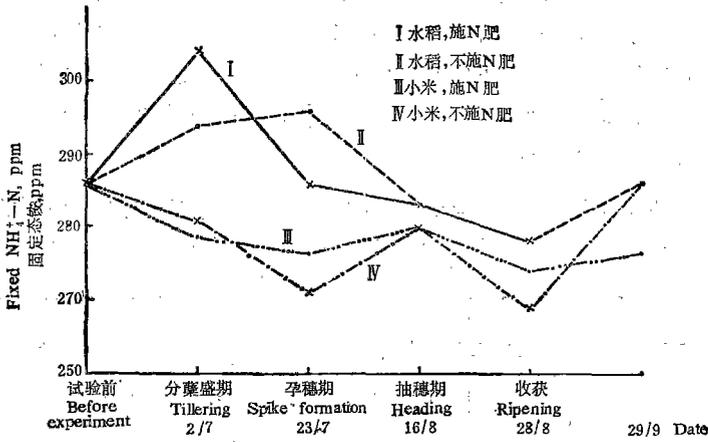


图 3 夹砂土固定态铵含量的变化

Fig. 3 Change of fixed NH₄⁺-N content during one cropping rice (calcareous paddy soil)

定态铵；(2) 可利用的原土壤中的固定态铵量因土壤和作物不同而异。夹砂土的固定态铵量虽较高,但其可利用的却显著的较白土低;无论白土或夹砂土,旱作条件下被吸收利用的数量均明显的较种植水稻条件下的多;(3) 施用氮肥对收获时土壤中的固定态铵含量没有明显影响,但在作物生长初期时有一定影响;(4) 作物收获后,在模拟田间水分条件下,固定态铵含量因土壤不同而有不同的变化,放置 4 周后夹砂土一般可回升到种植作物前的水平,白土的回升幅度则很小;(5) 无论白土或夹砂土,种植水稻的处理,在作物生

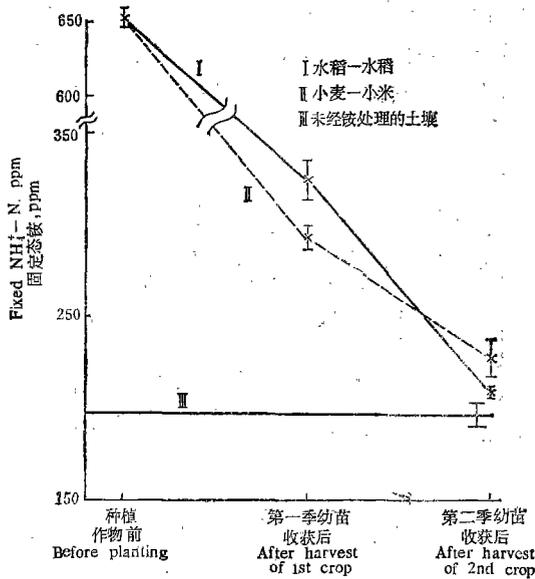


图 4 经铵处理的下蜀黄土连续种植作物时固定态铵含量的变化

Fig. 4 Change of fixed NH₄⁺-N content of NH₄⁺Cl-treated-Xiashu Loess during the course of 2 successive crops

长初期,其固定态铵含量均明显增高,种植旱作的处理则否。

已经知道,同一作物根系密度不同时所能摄取的养分量不等。为了解土壤中,包括底土中可能为作物吸收的固定态铵的数量,我们将用硫酸铵处理后的白土表土、下蜀黄土和第四纪红色粘土用幼苗法进行了试验,结果示于图4—6。为了比较,试验中还包括了未经硫酸处理的白土表土,结果示于图4—7。由图可见:(1)和表土不同,无论是下蜀黄土(图4)或第四纪红色粘土(图5),其中的“固有的”固定态铵均不能为作物所利用,不但如

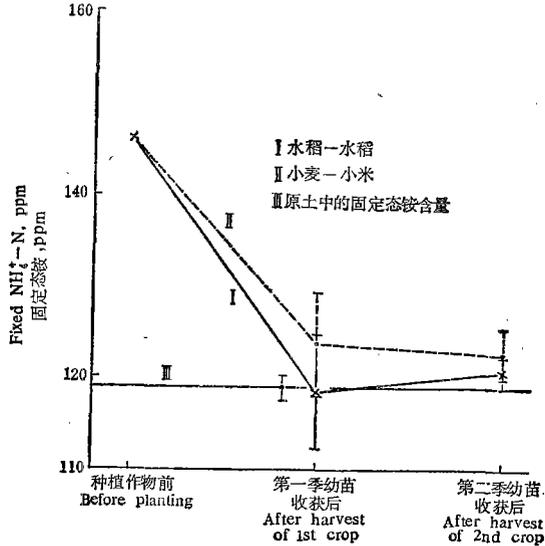


图5 经铵处理后的第四纪红色粘土连续种植作物时固定态铵含量的变化

Fig. 5 Change of fixed NH_4^+-N content of NH_4Cl -treated-Quaternary red clay during the course of 2 successive crops

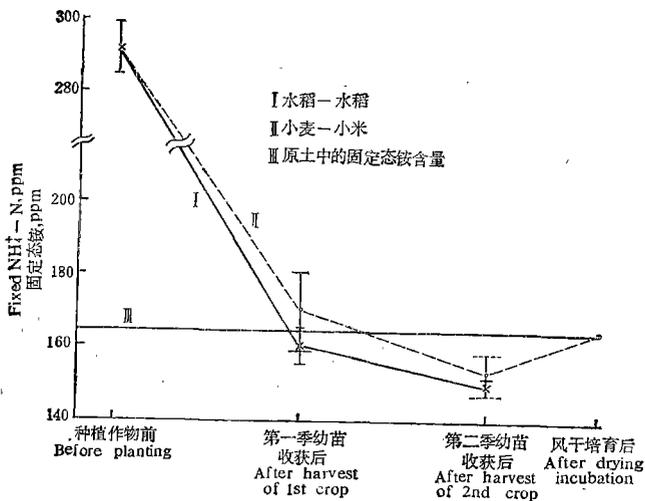


图6 经铵处理后的白土连续种植作物时固定态铵量的变化

Fig. 6 Change of fixed NH_4^+-N content of a NH_4Cl -treated-albic paddy soil during the course of 2 successive crops

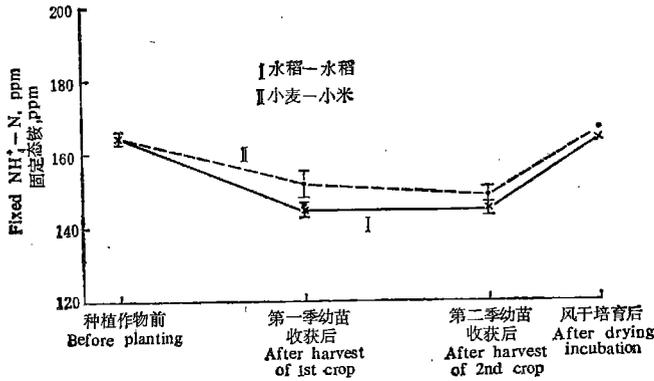


图 7 白土连续种植作物时固定态铵含量的变化

Fig. 7 Change of fixed $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content of albic paddy soil during the course of 2 successive crops

此,用硫酸处理后的下蜀黄土,种植两季幼苗后,其固定态铵含量尚高于原土中的含量;(2)大量“新固定的”固定态铵(以及较大量的交换性铵)的存在,并不影响“固有的”固定态铵的有效性,但影响其被吸收的进程;未经和经硫酸处理后的白土表土,种植两季幼苗后,其固定态铵量完全相同,唯未经硫酸处理的白土只需种植一季幼苗,而经硫酸处理的需种植二季幼苗后方降低至同一数值(图 6, 7);(3)同一土壤在种植水稻条件下,被移走的固定态铵量有较在旱作条件下为多的趋势,但差异大多达不到显著水准(图 4—7)。

三、讨 论

虽然早已知道土壤中一部分氮以固定态铵态存在^[2,7],但一般常过低估计了它在全氮中所占的份额,因而未予以应有的重视。表 2 中的材料指出,即便是太湖地区有机质含量较高的耕地土壤,在 0—20 厘米土层中,固定态铵量即可占该层氮素总量的 1/6 强,若以 1 米土体计算,则这个数字更高。可见,认为土壤中 95% 的氮以有机态存在的说法^[1]对大多数土壤来说都是不符合实际情况的。

固定态铵的有效性是估量它在作物氮素营养中的意义的主要指标。文献中常把固定态铵分为“固有的”和“新固定的”两种。认为前者的有效性很低,后者的有效性高^[8]。图 2—7 的结果大体上与此相一致。但是,同是“固有的”或“新固定”的固定态铵其有效性仍各不同。白土中的“固有的”固定态铵的有效性较高,其中约 1/8 可被作物利用;夹砂土次之,仅 1/15 左右;第四纪红色粘土的则在幼苗试验条件下都不能被吸收利用。至于“新固定的”固定态铵,大部份在作物生育中期即全被吸收利用,但下蜀黄土母质中有很少部分甚至在种植两季幼苗的情况下也不能被利用。这说明,上述区分并不能准确的反映固定态铵的有效性。可以设想,固定态铵是以不同的能量被矿物所吸持着,如果能按吸持能的不同将固定态铵加以区分当更为合理。无论如何,现有的材料表明,绝大部分“固有的”固定态铵是不能被作物利用的。

Keerthisinghe 等^[6]和 Kai 等^[5]从渍水有利于 2:1 型矿物的膨胀及氧化还原条件的角度认为渍水条件下固定态铵的有效性较旱地条件下为高。图 4—7 虽表明了这样的趋势,但二者的差异并未达到显著水准。图 2—3 的结果则与此相反。图 2—3 与图 4—7 的趋势不同可能是由于同一土壤在渍水条件下矿化释出的铵较在好气条件下的为多,同时固定的肥料铵和土壤铵也较在好气条件下者为多。因此,在图 2—3 中,种植水稻的处理,土壤固定态铵含量较相应的种植旱作的在试验初期时明显的高,及至一季作物收获时仍略高一些。而在图 4—6 中,由于土样几乎不含有有机氮,且土壤固定态铵量已达最大值,因而试验初期土壤固定态铵量不会因土壤水分状况不同而异;在此根系高度密集的情况下,土壤固定态铵的含量,主要取决于它的释放速度。渍水条件略有利于固定态铵的释出,因而在图 4—6 中,种植水稻的处理,土壤固定态铵含量较相应的种植旱作略低。图 7 中的白土肥力水平很低,且采自作物收获后,有机氮的矿化量较低。因此图 7 与图 4—6 相类似。无论如何,上述结果表明,渍水条件未必能显著的提高固定态铵的有效性。

图 2—3 中种植水稻条件下作物生长初期时土壤固定态铵含量高于原土但随即迅速下降的事实值得注意。含量增高意味着土壤矿化出的铵和肥料铵发生了固定。辅助试验表明,在不种植作物的情况下,试验开始 1 个月后,白土和夹砂土在旱作条件下分别有 1.26% 和 0.40% (占土壤全氮的%)的氮转变为固定态铵;在渍水条件下这个数字更分别高达 2.55% 和 4.04%。施入的肥料氮的固定率也很高,渍水条件下分别高达 37% 和 57% (表 3)。含量迅速下降意味着这部分固定态铵很快即被作物吸收利用。这说明,土壤矿物的固铵作用,和土壤有机质的固定矿质态氮的作用相似,既可使土壤具有较大的“稳肥性”(对氮而言),又可在一定程度上减少土壤中氮素的损失^[10],它是土壤氮素肥力研究中一个值得重视的因素。可以认为,本区不同母质上发育的土壤,不仅由于交换量不同,保肥能力各异,而且由于固铵能力不同,其稳肥性也有别。还应当提到的是,由于固铵作用且各土壤的固铵能力各不相同,因而现时土壤氮素矿化研究中常用的淹水(密闭)培育法^[3,9]不仅其测定值低于实际值,且不同土壤间很难进行比较。

表 3 培育前后土壤固定态铵含量的变化(常温下 30 天)

Table 3 Change of fixed $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content of soils after incubation (30 days)

水分状况 Water regime	处 理 Treatment	白 土 ¹⁾ Albic paddy soil		夹 砂 土 ¹⁾ Calcareous permeable paddy soil	
		ppm	固定率, %	ppm	固定率, %
渍 水 Waterlogged	不施肥 Without N	229	2.55	335	4.04
	施 肥 With N	274	37	404	57
旱 作 Upland	不施肥 Without N	213	1.26 ²⁾	292	0.40 ²⁾
	施 肥 With N	232	17	337	38

1) 培育前土壤的固定态铵含量: 白土 197ppm, 夹砂土 287ppm。

2) 增加的固定态铵占土壤全 N 的 %。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所编, 1978: 中国土壤。科学出版社, 299页。
- [2] 李庆远, 1938: 中国各主要土类固定硫酸铵的程度。土壤特刊, 乙种, 第4号, 1—7页。
- [3] 吉野乔, 1978: 水田土壤の窒素无机化と供给力推定法。农业及园艺 (B). 53: 299—302。
- [4] Bremner, J. M. 1965: Nonexchangeable ammonium. In: "Method of Soil Analysis" (Black, ed). Amer. Soc. Agron. Inc., Publisher, Madison, Wisconsin, USA., 1228—1232.
- [5] Kai H. and Wada, K. 1979: Chemical and biological immobilization of nitrogen in paddy soils. In: "Nitrogen and Rice" (IRRI, ed.) Los Bannos, Philippines. 157—174.
- [6] Keerthisinghe, G. Mengel, K. and S. K. De Datta, 1984: The release of nonexchangeable ammonium (^{15}N labelled) in wetland rice soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 48(2): 291—294.
- [7] McBeth, I. G. 1917: Fixation of ammonia in soils. J. Agr. Res., 9: 219—224.
- [8] Nommik, H. and Vahtras, K. 1982: Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. In: "Nitrogen in Agricultural Soils" (F. J. Stevenson, ed.) Am. Soc. Agron., Inc., Madison, Wisconsin, USA. Agron., 22: 123—171.
- [9] Waring, S. A. Bremner, J. M. 1964: Effect of Soil mesh-size on the estimation of mineralizable nitrogen in Soils. Nature. 202: 1141.
- [10] Wen Qixiao, Cheng Lili. and Shi Shulian, 1985: Decomposition of Azolla under field conditions and its nitrogen availability. In: "Proc. of the Workshop on Azolla Use" (FAAS and IRRI, ed.) Los Bannos, Philippines (in Press).
- [11] Xu Jiquan, Yang Deyong, Jiang Meiyin, 1981: Clay minerals of paddy soils in Taihu Lake region. In: "Proc. Symp. on Paddy Soil" (ISSAS, ed.) Science Press, Beijing, Springer-Verlag, Berlin, 480—485.

FIXED AMMONIUM IN SOILS OF TAIHU LAKE REGION AND ITS AVAILABILITY

Wen Qixiao, Zhang Xiaohua, Du Lijuan and Wu Shunling

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

The fixed ammonium content and the NH_4^+ -fixing ability of the main types of paddy soils in Taihu lake region were determined and the availability of the fixed ammonium was studied under greenhouse conditions. It was found that both the fixed NH_4^+ content and the NH_4^+ -fixing ability of soils varied with the parent materials, they decreased in the order: Yangtze River alluvium > loess-like material > Quaternary red clay. About 18% of the total N in the soil layer of 0—20 cm and 34% of that in the soil layer of 0—100 cm were in the form of fixed NH_4^+ -N.

The availability of the "native" fixed ammonium was rather low, and varied considerably in different horizons, ranging from 0 to 13%, while that of the newly fixed NH_4^+ was very high, being nearly 100%. There was no evidence showing the effect of waterlogging on the availability of the fixed NH_4^+ . The significance of NH_4^+ -fixation in soil N fertility is discussed, and it is suggested that the values obtained by the submerged incubation method were not only lower than the real ones, but also incomparable due to the presence of NH_4^+ -fixation and difference in NH_4^+ -fixing ability among various soils.