

太湖地区主要类型土壤的硝化作用及其影响因素

李良谟 潘映华 周秀如 伍期途 李振高

(中国科学院南京土壤研究所)

素有“渔米之乡”美称的太湖地区,目前普遍存在着氮肥用量偏高,氮素损失较多的问题,并有氮污染潜在危害的可能性〔1, 2〕。土壤中的硝化作用和反硝化作用是造成氮素损失或环境氮素污染的重要原因之一〔3〕。因此,研究该地区土壤的硝化过程对减少氮肥损失、防止氮素对环境的污染、保护农产品质量等对策性研究,都有其实际意义。为此,本文研究了太湖地区主要类型土壤的硝化作用及其有关因素。

一、材料和方法

(一)供试土壤 主要采自江苏常熟辛庄、吴县胜浦、太仓新毛、武进运村、吴江铜锣和溧阳竹箴等地,包括竖头乌栅土、乌沙土、黄泥土、小粉白土、青紫泥和板浆白土。它们在pH、有机质和粘粒含量上有很大的差异,在肥力水平上也相距较大。

(二)培育试验

1. 土壤硝化率的测定:参照甲斐秀昭推荐的方法进行〔4〕,具体操作如下:

称取20克新鲜供试土壤若干份,分别放入150毫升三角瓶中,加入相当于5毫克N的硫酸铵溶液(按每100克供试土壤加入25毫克N计算),再加入适当水分后(根据试验要求而定),瓶口用塑料薄膜封盖,放置在28℃恒温环境中培养。在培养后的第7天、14天、21天和28天,分别取出培养瓶3—4只,分析其中的 NH_4^+-N 和 $(\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)-\text{N}$ (经培养过程中检测, NO_2^--N 含量极微,实际上主要是 NO_3^--N),计算出土壤硝化率(即

$$\text{培养后土壤中} \frac{(\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) - \text{N}}{\text{NH}_4^+ - \text{N} + (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) - \text{N}} \times 100。$$

2. 试验中的几个具体处理:

(1) 各土壤硝化活性比较试验 除了土壤含水量控制在最大持水量的65%外,余按1法进行;

(2) 水分影响试验 水分含量分两种处理,一为最大持水量的65%,另一为持水量的30%。余按1法进行;

(3) 有机肥影响试验 在等氮量(25毫克N/100克土)下分设三种处理:(1)单施硫酸铵;(2)单施猪粪;(3)硫酸铵与猪粪各半。水分含量为最大持水量的65%。余按1法进行。

(4) 为了研究氧化层、还原层土壤的硝化强度,于12.5×6.5厘米的结晶皿中盛土样300克,按100克土40毫克氮加入硫酸铵溶液,淹水培育一个月,这时土壤分化为颜色不同的氧化层和还原层。分别取出两层土壤,用作分析亚硝酸菌的数量和测定土壤硝化强度。其作法

是：分别将1克氧化层和还原层土壤接种于亚硝酸菌培养液，28℃恒温下培育二周后，分析培养液中形成的 $(NO_2^- + NO_3^-)$ -N含量，以其占加入培养液中 NH_4^+ -N量的百分数示硝化强度。

(三)分析方法

1. 土壤pH、粘粒含量按常规方法分析。
2. 土壤 NH_4^+ -N、 $(NO_2^- + NO_3^-)$ -N用1M KCl按土:液比1:2.5振荡提取，先用半微量蒸馏法获得 NH_4^+ -N，再于蒸馏物中加入Zn-FeSO₄还原剂，再行蒸馏得 $(NO_2^- + NO_3^-)$ -N。
3. 亚硝酸菌数量用MPN法测定。

二、结果与讨论

(一)不同土壤的硝化作用

不同类型的水稻土间硝化作用差异很大(图1)。其中以石灰性湖积物发育的囊水型竖头

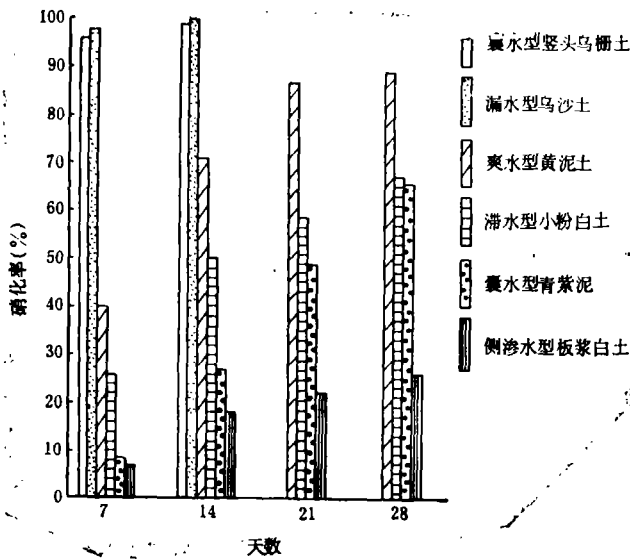


图1 太湖地区主要类型水稻土的硝化能力

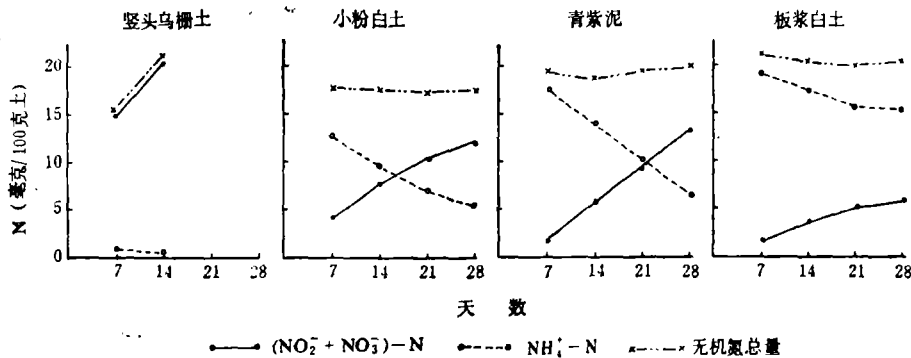


图2 几种土壤加入硫酸铵后无机氮含量的变化

乌栅土和漏水型乌沙土的硝化作用最强；爽水型黄泥土次之；滞水型小粉白土再次之。经培育一周，各土壤的硝化率分别为96%、98%、40%和26%；湖积物发育的典型囊水型青紫泥和侧渗水型板浆白土的硝化作用最弱，硝化率只有8.5%和7.0%。

由于各种土壤硝化过程的快慢、强弱既不等，其有机氮的矿化，和矿质氮的生物固定等过程的强度又互不相同。因此，在培育过程中其矿质态氮的积累曲线各异(图2)。由图2可见，部分土壤在培育过程中其 $(NO_2^- + NO_3^-)-N$ 的积累与时间呈线性关系，有些土壤则无此相关；同时线性部分的斜率各土壤也不相同。根据线性部分的斜率，计算出各种土壤的硝化作用速率(微克氮/克干土·天)^[5]其强弱顺序为：竖头乌栅土>青紫泥>小粉白土>板浆白土(表1)。值得提出的是，青紫泥经培育一周其硝化率远低于小粉白土，但随着培育时间的

表1 不同土壤的硝化作用速率

土 壤	硝化作用速率 (微克N/克干土·天)
竖头乌栅土	8.00
青紫泥	5.50
小粉白土	3.50
板浆白土	2.15

的推移而逐渐呈线性增加；小粉白土经培育一周，其硝化率虽高于青紫泥，但随着培育时间的推移仅缓慢增加，培育至28天时二者硝化率则相近。以时间对 $(NO_2^- + NO_3^-)-N$ 积累量的斜率而言，在相同培育期间内(如7—28天)，以青紫泥累积的量高于小粉白土(图2)，从而导致了小粉白土的硝化作用速率低

于青紫泥的局面。

(二)影响土壤硝化作用的因素

土壤中的硝化作用是由各种硝化微生物的活动引起的，这些微生物的数量多少、活性强弱深受土壤性质、农业措施等的影响。以下仅就土壤pH、质地、氧化还原状况、水分含量以及施肥等对硝化作用的影响进行讨论。

1. pH。土壤酸度是影响硝化作用的重要因素之一，也是造成太湖地区各土壤硝化活性强弱不等的一个原因。相关分析表明，土壤硝化率与土壤pH值呈极显著正相关($r = 0.941^{**}$)。从回归线上相关点的分布可以看出(图3)，pH5.6时硝化率很低，在pH5.6—8.0范围内，硝化率随土壤pH上升而增大。

2. 质地。土壤质地与土壤的通气性有关，质地粘重的土壤，通气性较差，不利于进行硝化作用。从土壤硝化率与土壤粘粒(<0.001毫米)含量的相关分析说明，二者呈显著负相关($r = -0.639^*$, $n = 13$)。

结合上面讲到的硝化作用强的土壤有竖头乌栅土和乌沙土来看，其pH值分别为7.9和7.7，乌沙土粘粒含量仅为14.5%；而硝化作用弱的青紫泥和板浆白土的pH只有5.7和5.6，其粘粒含量则分别达17.6%和19.9%。

3. 氧化还原状况。水稻土的氧化层有利于好氧性硝化微生物活动。所谓硝化微生物是氧化 NH_4^+ 为 NO_2^- 的亚硝酸细菌和氧化 NO_2^- 为 NO_3^- 的硝酸细菌的总称。因为亚硝酸盐在自然界很少发现，所以氧化 NO_2^- 的细菌总是与氧化 NH_4^+ 的细菌存在于同一环境中。研究结果证明，所有供试土壤的氧化层中亚硝酸细菌数量远远多于还原层，二者亚硝酸菌数相差5倍至千倍，有的甚至高达十万倍(表2)。一般说来，细菌数量的多寡与其活性的强弱有一定的关

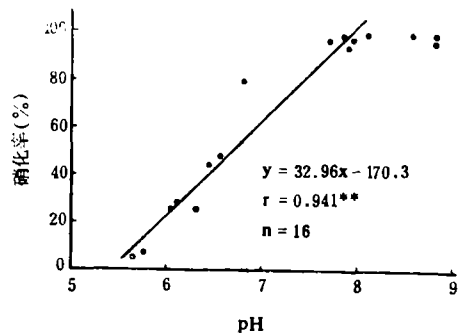


图3 土壤pH与硝化率的相关性

表 2 氧化层、还原层土壤中亚硝酸菌的分布 (MPN法, 个/克干土)

土 壤	氧化层	还 原 层
青紫泥	$(40.5 \pm 24.9) \times 10^3$	$(7.79 \pm 5.20) \times 10^3$
黄泥土	$(8.39 \pm 5.40) \times 10^6$	$(11.5 \pm 5.29) \times 10^3$
乌沙土	$>10^8$	$(1.54 \pm 1.11) \times 10^6$
竖头乌栅土	$>10^9$	$(37.3 \pm 7.50) \times 10^3$

表 3 氧化层、还原层土壤的硝化强度 (硝化强度%, 二周)

土 壤	氧化层	还 原 层	相 差
青紫泥	22.3 ± 6.63	13.2 ± 2.06	9.1**
黄泥土	45.2 ± 10.7	29.8 ± 3.63	15.4**
竖头乌栅土	58.3 ± 3.31	21.2 ± 2.66	37.1**

** 差异极显著

系, 数量多往往活性较强。氧化层和还原层的硝化强度资料表明(表3), 所有土壤的氧化层的硝化强度〔指含 NH_4^+-N 的培养液中接种土壤(既含亚硝酸细菌也含硝酸细菌), 培养后转化为 $(\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)-\text{N}$ 的含量占加入 NH_4^+-N 量的百分数。〕都大于还原层, 二者可相差9—37%($P < 0.01$)。氧化层中强烈的硝化活性与还原层的反硝化活性相结合, 是造成水稻土氮素损失的一个重要原因。

4. 水分。硝化细菌为好气性微生物, 其活性受土壤含水量的影响较大。一般在水分含量为最大持水量的50—65%左右时, 硝化作用最为旺盛。据Reichman^[6]等报道, 水分张力在0.2—15巴之间, 硝化作用与土壤水分含量成正比。Flowers^[5]也发现, 土壤水势在-15MPa—-KPa之间时, 硝化率随土壤水势的下降而增加。太湖地区几种土壤的试验结果亦表明(图4), 同一土壤以水分含量为持水量的65%时, 其硝化率大于持水量为30%者。

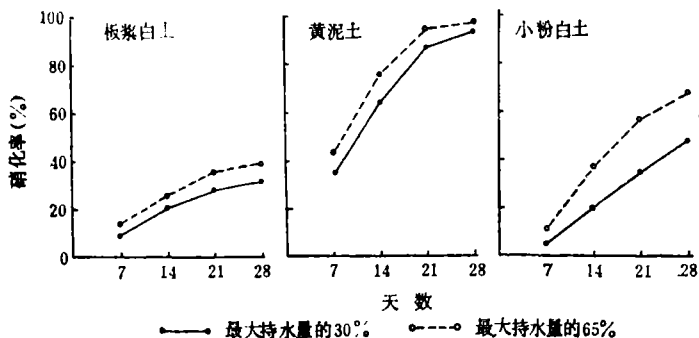


图4 土壤不同含水量对硝化率的影响

表 4 硫酸铵和猪粪的硝化率*(硝化率%)

土 壤	单施硫酸铵	$\frac{1}{2}$ 猪粪 + $\frac{1}{2}$ 硫酸铵	单施猪粪
青紫泥(一周)	—	20.3	87.3
	15.5	77.1	100
板紫白土(一周)	7.96	42.2	100
	22.6	71.9	92.8
小粉白土(一周)	28.2	56.5	97.4
	61.7	91.5	99.2
黄泥土(一周)	45.3	72.5	100
	81.9	97.7	100

* 1) 加入的猪粪-N为25毫克N/100克土

2) 硝化率仍指培育后测得的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 占矿态氮总量的百分数

5. 有机肥。据报道, 培养基中各种有机质对硝化细菌都有抑制作用, 但是, 在自然环境中并非如此。Soriano^[7]等发现, 洛桑试验站 Broadbalk区的施厩肥小区中的亚硝酸细菌数量最多。我们对太湖地区主要类型土壤进行的施用猪粪的培育试验结果表明(表4), 在等氮量情况下, 以单施猪粪处理的硝化率大于猪粪和硫酸铵各半的处理, 后者又大于单施硫酸铵者, 在培育初期表现尤为明显。显然施用猪粪者是氨化和硝化两个作用的综合结果。再从各处理中 NH_4^+-N 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的累积量来看, 所有供试土壤中凡单施猪粪

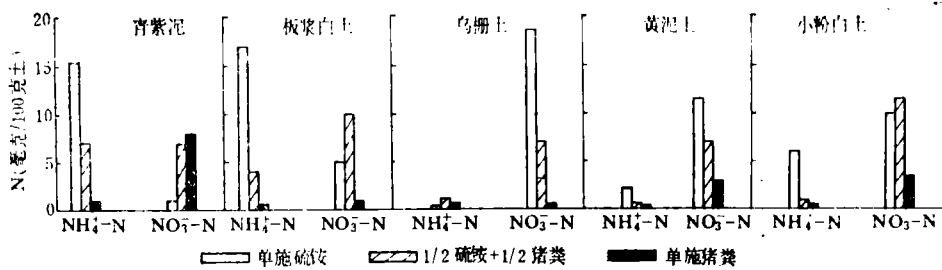


图5 加入猪粪后NH₄⁺-N和NO₃⁻-N积累情况(培育二周)

的处理,测得的NH₄⁺-N含量远低于另外两个处理(图5),这可能与此处理的微生物数量多,硝化作用强而转化和利用了较多的NH₄⁺-N有关。关于NO₃⁻-N的积累情况,除了在青紫泥中施猪粪处理的NO₃⁻-N含量高于其他两处理外,其余各种土壤都以施猪粪处理所含NO₃⁻-N低于另外两个处理(图5)。上述情况说明,土壤施用有机肥既要影响硝化作用也要涉及氨化和生物固定等过程,而这些过程又彼此互有影响,存在着较为复杂的关系。因此,在考虑影响硝化作用的因子时,对此必须予以足够的注意。而在研究手段上只有借助于¹⁵N示踪肥料(包括有机肥的标记等),方能对此问题作深入探讨。

6. 肥力水平。我们在研究中观察到肥力水平高的土壤其硝化作用强,而肥力水平低的土壤硝化作用较弱的趋势。这可能由于凡有利于硝化细菌生活的土壤条件,多半也是有利于植物生长的环境,特别是通气条件、近中性反应和氮素的供应等。对同一类土壤而言,凡肥力水平差异大的(如供试的滞水型小粉白土),其硝化活性也相距较远一些;凡肥力水平差异不大或本身肥力较高者(如爽水型黄泥土),肥、瘦土壤间的硝化率差异则不明显。

摘 要

本文初步阐述了太湖地区主要类型土壤硝化活性的特点,以及硝化作用的影响因素等。为深入研究本地区不同土壤中氮素硝化-反硝化损失的程,以及氮素污染问题,提供了基本参数。但是,如何进一步研究原位土壤条件下的硝化过程及其动力学,以及硝化过程与不同土壤中氮素面源污染的关系及防治有关的问题,尚需作大量研究。

参 考 文 献

- [1] 朱兆良,我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展。土壤,17(2):2-9,1985。
- [2] 蔡贵信、朱兆良,太湖地区水稻土的氮素供应和氮肥的合理施用。土壤,15(6):201-205,1983。
- [3] Duxbury, J. M., D. R. Bouldin, R. E. Terry, R. L. Tate, Nature, 298(5873): 462-464, 1982.
- [4] [日]土壤微生物研究会编(叶维青等译),土壤微生物实验法。第438页,科学出版社,1983。
- [5] Flowers, T. H., J. R. O'Callaghan. Soil Biol. Biochem., 15 (3): 337-342, 1983.
- [6] Reichman, G. A., D. L. Grunes, F. G. Viets, Jr., Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30(3): 363-366, 1966.
- [7] Soriano, S., N. Walker, J. Appl. Bact., 36(3): 523-529, 1973.