

# 几种土壤剖面的硝化作用及其动力学特征\*

张树兰 杨学云 吕殿青 同延安

(陕西省土壤肥料研究所, 陕西杨陵 712100)

**摘 要** 选用陕西省六种主要耕作土壤及其剖面不同层次 23 个土样, 在实验室培养条件下, 研究其硝化作用的特点, 并选用  $dN/dt = bN(B-N)/B$  方程 (式中,  $N$  为硝态氮的累积量,  $t$  为试验培养时间,  $B$  为硝态氮累积量的渐进值), 描述硝化作用过程中硝态氮含量随时间的累积, 获得定量描述硝化作用强弱的两个指标 ( $K_{\max}$  和  $t_d$ )。结果表明耕层土壤由北向南硝化作用强度逐渐减弱, 硝化作用的最大速率 ( $K_{\max}$ ) 变幅为 2.70~16.58 mg/kg.d, 陕北的黑垆土硝化作用进行最快, 陕南的黄泥巴最慢。在不同土壤剖面中, 硝化作用由上到下呈现减弱趋势, 硝化作用的最大速率 ( $K_{\max}$ ) 随土层深度增加而下降, 迟缓期 ( $t_d$ ) 随土层深度增加而延长, 在粘化层和粘重土层中, 硝化作用非常微弱或基本不发生硝化作用。这些不同土壤及剖面层次硝化作用的差异与土壤的物理、化学特性有关。

**关键词** 土壤剖面, 硝化作用, 迟缓期, 土壤性质

**中图分类号** S153

一般农田施用的氮肥绝大部分是铵态氮肥, 这些肥料进入土壤后, 除部分被植物吸收和土壤固定外, 其余大部分经过硝化作用转化成硝态氮。硝态氮易随水移动, 当淋洗至根层以外就不能再被植物利用, 并进而污染地下水<sup>[1]</sup>。因此, 人们长期以来对硝化作用进行了大量的研究。例如, 肥料氮硝化作用的持续时间<sup>[2]</sup>, 土壤 pH 的影响<sup>[3]</sup>, 以及环境因子的影响——温度、水分等<sup>[4]</sup>。已发现土层深度亦影响硝化作用<sup>[5]</sup>, 但研究较少。考虑到肥料深施, 了解耕层以下土壤硝化作用的特点亦非常重要。

硝化作用是由硝化微生物作用进行的。土壤中硝化菌的数量相对较少, 但当铵态氮施入土壤后硝化菌迅速增加。硝化作用的速率形成“S”型曲线, 分为延迟阶段——硝化菌数量的生长时期; 最大速率阶段和停滞阶段——土壤中铵态氮衰退引起的<sup>[6]</sup>, Sabey 等<sup>[6,7]</sup>, 以及其它一些研究者<sup>[3]</sup>用零级动力学描述了硝态氮含量随时间的累积,  $N = k(t - t')$ ,  $N$  为硝态氮的累积量,  $k$  为速度常数,  $t$  为硝化作用的持续时间,  $t'$  为硝化作用的迟缓期; 一级方程也被用来描述硝化作用<sup>[8]</sup>, 主要用于水和硝态氮的转运模型, 以氮的转化作为一级反应为前提。还有利用微生物途径, 采用 Michaelis-Menten 方程, 把硝化作用的速率作为底物

\* 陕西省科委资助项目

收稿日期: 1999-03-14; 收到修改稿日期: 2000-01-15

铵态氮浓度和几个生物参数(例如,细菌的数目和比生长速度)的函数<sup>[9]</sup>。这些方程都可描述硝化作用的所有阶段,但是微生物参数作为必需的信息将难以预测硝化作用的过程。我国在硝化作用领域的研究十分有限。本试验的目的是了解不同土壤剖面各层次土壤硝化作用的特点以及配置定量描述硝化作用过程的速度方程,并就不同土壤剖面各层次不同硝化特点的原因进行初步探讨。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试土壤

黄绵土和黑垆土采自陕北米脂县泉家沟和洛川县当归村,红油土和黑油土采自关中西北农大北部农田和陕西省农科院西南;水稻土和黄泥巴采自汉中七里乡季风村和武乡白庙。其主要理化性质见表 1。

表1 供试土壤的主要性质

Table 1 General properties of different soils

| 土壤名称<br>Soil | 土层深度<br>Depth<br>(cm) | CEC<br>cmol/kg | 全氮<br>Total N<br>(%) | 有机质<br>Organic<br>matter<br>(mg/kg) | 矿质氮<br>Mineral<br>N<br>(mg/kg) | 全磷<br>Total P<br>(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %) | 速效磷<br>Olsen-P<br>(mg/kg) | 速效钾<br>Available<br>K<br>(mg/kg) | 物理性<br>粘粒<br>Physical<br>clay<br>content(%) | pH   |
|--------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|---|------|
| 黄绵土          | 0~20                  | 6.75           | 0.037                | 4.8                                 | 19.0                           | 0.15   | 3.20                      | 135                              | 23.10                                       | 8.18 |
| 黑垆土          | 0~20                  | 9.76           | 0.072                | 9.0                                 | 14.7                           | 0.19   | 4.00                      | 130                              | 32.50                                       | 8.48 |
|              | 20~50                 | 8.40           | 0.055                | 7.3                                 | 11.0                           | 0.16   | 3.50                      | 100                              | 37.50                                       | 8.36 |
|              | 50~110                | 10.12          | 0.049                | 6.0                                 | 9.1                            | 0.16   | 3.50                      | 85                               | 39.20                                       | 8.46 |
|              | 110~150               | 8.36           | 0.035                | 3.7                                 | 6.4                            | 0.18   | 3.60                      | 117                              | 35.50                                       | 8.44 |
| 红油土          | 0~30                  | 14.24          | 0.080                | 9.5                                 | 15.1                           | 0.15   | 3.00                      | 262                              | 48.00                                       | 8.38 |
|              | 30~45                 | 17.91          | 0.070                | 7.2                                 | 11.8                           | 0.10   | 1.50                      | 117                              | 50.80                                       | 8.38 |
|              | 45~70                 | 14.43          | 0.060                | 6.0                                 | 12.7                           | 0.13   | 1.70                      | 110                              | 53.70                                       | 8.32 |
|              | 70~110                | 16.91          | 0.055                | 5.2                                 | 11.9                           | 0.17   | 2.00                      | 82                               | 56.80                                       | 8.47 |
|              | 110~190               | 10.57          | 0.050                | 4.5                                 | 9.7                            | 0.16   | 4.00                      | 70                               | 48.90                                       | 8.35 |
| 黑油土          | 0~30                  | 15.07          | 0.075                | 9.2                                 | 18.8                           | 0.18   | 4.00                      | 355                              | -   | 8.22 |
|              | 30~90                 | 13.07          | 0.065                | 6.1                                 | 15.0                           | 0.15   | 3.50                      | 215                              | -   | 8.32 |
|              | 90~180                | 10.40          | 0.040                | 4.0                                 | 12.0                           | 0.16   | 3.50                      | 70                               | -   | 8.24 |
|              | 180~210               | 10.10          | 0.036                | 4.0                                 | 10.3                           | 0.15   | 3.60                      | 100                              | -   | 8.28 |
| 水稻土          | 0~20                  | 18.82          | 0.172                | 27.0                                | 20.0                           | 0.16   | 9.50                      | 117                              | 55.32                                       | 6.52 |
|              | 20~35                 | 19.10          | 0.103                | 15.0                                | 12.5                           | 0.12   | 7.70                      | 110                              | 53.25                                       | 7.08 |
|              | 35~58                 | 16.81          | 0.081                | 11.0                                | 8.2                            | 0.09   | 3.40                      | 170                              | 58.63                                       | 7.36 |
|              | 58~70                 | 12.09          | 0.048                | 4.5                                 | 6.5                            | 0.05   | 2.45                      | 65                               | 69.05                                       | 7.56 |
|              | 70~100                | 15.55          | 0.043                | 3.0                                 | 6.0                            | 0.09   | 1.00                      | 165                              | 68.08                                       | 7.54 |
| 黄泥巴          | 0~20                  | 19.37          | 0.060                | 7.1                                 | 8.5                            | 0.08   | 7.90                      | 170                              | 64.20                                       | 6.85 |
|              | 20~30                 | 23.11          | 0.055                | 2.7                                 | 7.0                            | 0.05   | 3.15                      | 150                              | 65.10                                       | 7.12 |
|              | 30~70                 | 23.94          | 0.055                | 1.2                                 | 6.1                            | 0.05   | 3.14                      | 158                              | 66.92                                       | 7.83 |
|              | 70~100                | 21.44          | 0.050                | 1.3                                 | 4.5                            | 0.11   | 4.20                      | 158                              | 67.20                                       | 7.50 |

### 1.2 培养试验

1.2.1 不同土壤肥料氮硝化作用的培养试验 称取通过 2mm 孔筛 ( $10 \pm 0.1$ )g 的风干土样于 50ml 三角瓶中,加入相当于  $100\mu\text{g/gN}$  的硫酸铵溶液,使土壤水分达到田间持水量的 60%,充分混匀。用聚乙烯薄膜盖住瓶口,用橡皮筋将封口扎紧,然后用针在薄膜上刺 2~3 个小孔,每周称重一次,必要时补加失去的水份。在恒温箱中  $30^\circ\text{C}$  培养,并以只加水不施肥作对照。在不同时间间隔内取两个重复测定铵态氮和硝态氮。

1.2.2 铵固定影响试验 取硝化作用微弱和旺盛的土壤,即黑垆土,0~20 和 110~150cm;黑油土,0~30 和 90~180cm;水稻土,0~20 和 58~70cm。按“1.2.1”法进行培养试验。在不同时间间隔测定固定态铵。

1.2.3 测定方法 铵态氮用靛酚蓝比色,硝态氮用镉柱还原比色测定;速效磷,陕南两种土壤用盐酸—氟化铵法,其余用碳酸氢钠法;固定态铵用 Silva 和 Bremner 法处理土壤,加 KOH 蒸馏,滴定,其它均按常规分析方法测定。

## 2 结果和讨论

### 2.1 不同土壤的硝化作用及特征函数

不同土壤硝态氮和铵态氮随时间的变化如图 1。在图中铵态 N 的起始浓度为土壤施

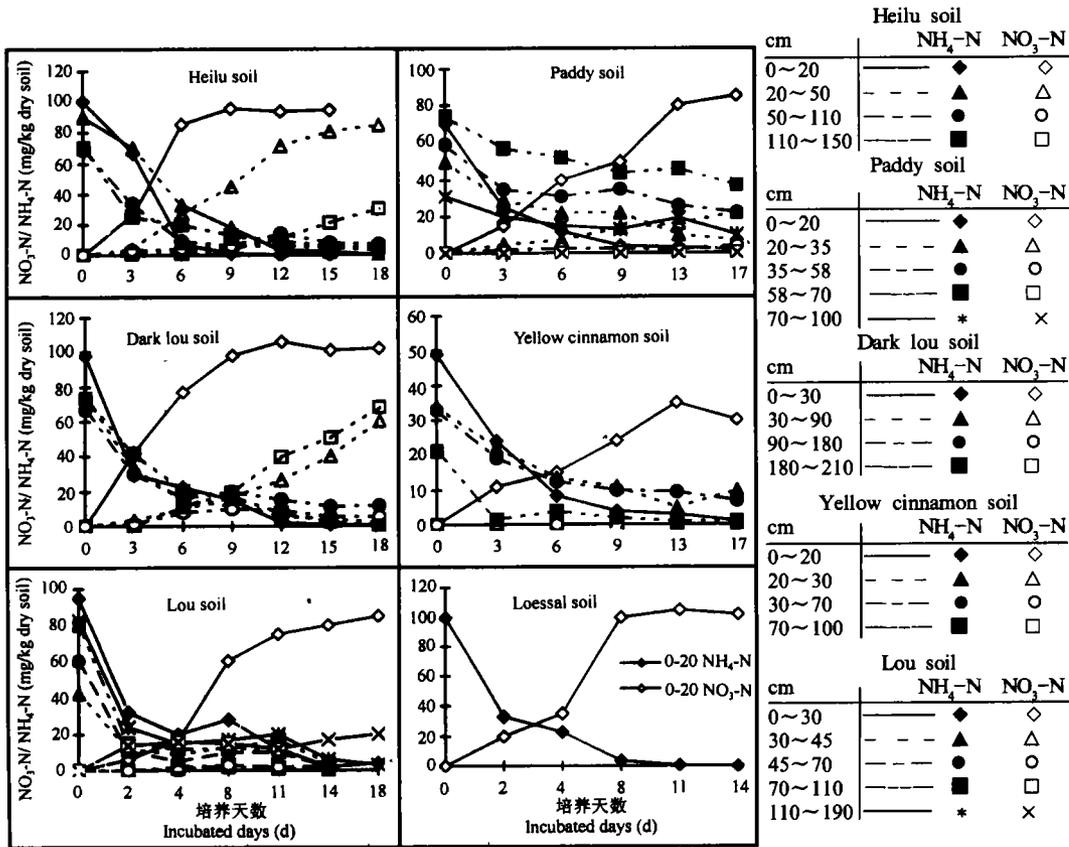


图1 不同培养时间土壤中NH<sub>4</sub>-N和NO<sub>3</sub>-N的动态变化

Fig.1 NO<sub>3</sub>-N accumulation and NH<sub>4</sub>-N depletion in soil samples

肥后即时浸提测定的结果,在供试土壤中铵态氮的起始浓度都小于 100mg/kg,而且随土壤剖面深度的增加而下降。铵态氮的即时消失可能由于化学固定,这种固定常随土层深度增加而增加<sup>[10]</sup>。由曲线表示的铵态氮和硝态氮量均为施肥处理减去对照不施肥处理的测量量。可以看出大部分硝态氮累积曲线为“S”形,呈现出迟缓阶段,最大速率阶段和停滞阶段,相似于 Sabey 等的结果<sup>[5]</sup>,为了定量表示硝态氮含量随时间的累积,引用  $dN/dt = bN(B - N) / B$  方程,其积分表示“S”形曲线:

$$N = B / (1 + ce^{-bt}) \quad (1)$$

式中,  $N$  为硝态氮的累积量;  $B$  为硝态氮累积量的渐近值,依赖于实验所加入土壤中铵态氮的量,可通过最小二乘法求得;  $b, c$  为常数,可用直线回归求得;  $t$  为试验培养时间,以天为单位。方程拟合程度很好,  $F$  检验极显著。根据 Sabey 等<sup>[5]</sup>报道,当铵态氮浓度不是速率限制因子时,硝化作用的最大速率依赖于土壤性质。因此,最大速率 ( $K_{mx}$ ) 由方程 (1) 在拐点处的最大斜率 ( $N = B/2$ ) 可计算

$$K_{mx} = B \cdot b / 4 \quad (2)$$

迟缓期 ( $t_d$ ) 是最大斜率直线的外推与横坐标相交的时间,对方程 (1) 求二阶微分,然后根据直角三角形计算可得

$$t_d = 1 / b(\ln c - 2) \quad (3)$$

上述的硝化作用模型能够描述硝化作用曲线的三个阶段,由此导出的两个函数  $K_{mx}$  和  $t_d$  亦能表征已知环境条件的土壤硝化作用的特征。由曲线计算的最大速率和迟缓期列于表 2。

在六种耕层土壤中,硝态氮累积达最大值所需时间,由陕西北部土壤至南部土壤越来越长,而硝态氮最大累积量占初始加入的铵态氮的比例(即回收率)却越来越小。六种耕层土壤硝化作用最大速率变幅为 2.70~16.58mg/kg·d,迟缓期  $t_d$  差异较小,为 1.31~3.45 天。陕北黑垆土和黄绵土,  $K_{mx}$  分别为 16.58 和 15.12mg/kg·d,硝化作用进行最快;关中红油土和黑油土居中,各自的  $K_{mx}$  为 13.0 和 14.04mg/kg·d;陕南水稻土和黄泥巴最慢,  $K_{mx}$  为 8.55 和 2.70mg/kg·d。这些表明不同地域性土壤的  $K_{mx}$  差异大于同一地域性土壤间  $K_{mx}$  的差异,  $K_{mx}$  的大小反映不同土壤,特别是不同地域性土壤的硝化作用强度,亦即显示出土壤环境因素对硝化作用综合影响的结果。陕南的水稻土和黄泥巴  $K_{mx}$  明显低于其它土壤,可能由于土壤粘重,通气差(表 1);因为 pH6.52 和 6.85 通常认为也不限制硝化作用<sup>[11]</sup>。

在土壤剖面中,最大硝化作用速率 ( $K_{mx}$ ) 随土层深度的增加而降低,而迟缓期 ( $t_d$ ) 增加。在较粘重土壤,20~30cm 以下土层硝化作用很弱,如红油土、水稻土和黄泥巴;黑垆土和黑油土随土层深度的变化硝化作用逐渐减弱,但粘化层没有硝化作用发生(图 1)。与  $K_{mx}$  相比,土层深度对  $t_d$  影响较为显著,这种土层深度对  $t_d$  的影响是可以想到的,因为作为硝化菌的氮源铵态氮很少,仅能维持较少数量的硝化菌,当加入铵态氮后,需要更长的时间使硝化菌达到最大容量。相似的深度对硝化作用迟缓期的影响亦被 Martin and cox<sup>[12]</sup> 和 Hadas 等<sup>[5]</sup>发现。然而最大的硝化作用速率似乎不受土壤深度的影响,  $K_{mx}$  随土层深度增加而下降,可以表明土壤潜在的最大速率(或硝化菌量)没有达到。黑油土剖面硝化作用并不随土层深度而有规律的变化,而较低的硝化速率(耕层以下)可能与其低的矿化速

表2 不同土壤剖面各层次硝化作用的最大速率及延迟期

Table 2 Maximal rates and delay periods of nitrification in soil profiles

| 土壤名称<br>Soil | 土层深度<br>Depth<br>(cm) | 起始NH <sub>4</sub> -N浓度<br>Initial NH <sub>4</sub> -N<br>conc.<br>(mg/kg) | NO <sub>3</sub> -N累积                                      |   |  |
|--------------|-----------------------|--|---|---|--|
|              |                       |  | NO <sub>3</sub> -N累积<br>最大速率<br>Maximal rate<br>(mg/kg·d) | NO <sub>3</sub> -N accumulation<br>迟缓期<br>Delay period<br>(d) | NO <sub>3</sub> -N accumulation<br>最大累积量<br>Maximal<br>accumulation<br>(mg/kg) |
| 黄绵土          | 0~20                  | 100  | 15.12   | 1.46  | 100  |
| 黑垆土          | 0~20                  | 100  | 16.58   | 1.31  | 95   |
|              | 20~50                 | 90   | 6.98  | 3.5   | 85   |
|              | 50~110                | 68   | -   | -   | 5  |
|              | 110~150               | 70   | 3.38  | 9.4   | 37   |
|              | 红油土                   | 0~30   | 95  | 13.0  | 3.1  |
| 红油土          | 30~45                 | 42   | -   | -   | 2  |
|              | 45~70                 | 60   | -   | -   | 2  |
|              | 70~110                | 80   | -   | -   | 2  |
|              | 110~190               | 83   | -   | -   | 20   |
|              | 黑油土                   | 0~30   | 98  | 14.04   | 1.44   |
| 30~90        |                       | 74   | 4.81  | 6.06  | 60   |
| 90~180       |                       | 67   | -   | -   | 10   |
| 180~210      |                       | 74   | 6.29  | 5.57  | 68   |
| 水稻土          | 0~20                  | 70   | 8.55  | 3.45  | 85   |
|              | 20~35                 | 50   | -   | -   | 21   |
|              | 35~58                 | 59   | -   | -   | -  |
|              | 58~70                 | 59   | -   | -   | 4  |
|              | 70~100                | 31   | -   | -   | -  |
| 黄泥巴          | 0~20                  | 49   | 2.7   | 2.16  | 33   |
|              | 20~30                 | 34   | -   | -   | -  |
|              | 30~70                 | 33   | -   | -   | -  |
|              | 70~100                | 21   | -   | -   | -  |

率<sup>[13]</sup>以及一些对微生物非确定限制因子有关。

## 2.2 土壤特性与硝化作用的关系

2.2.1 硝化作用与土壤主要化学物理性质 由以上结果可知,不同土壤及其剖面各层次的硝化作用有明显差异。这种硝化作用的不同在很大程度上可能受土壤养分、水分及其它物理、化学性状的影响。对不同土壤剖面各层次硝态氮最大回收量与其主要物理、化学性质统计结果(表3)表明:硝化作用与矿质氮、全磷及速效钾成正相关,相关系数达显著水平;与代换量、物理性粘粒成极显著负相关。这证明土壤的肥沃程度及质地是影响硝化作用的重要因素。Anderson等<sup>[14]</sup>则认为不同土壤间硝化作用的差异与土壤类型,全氮及阳离子交换量没有相关性。由此看来,土壤性质与硝化作用的关系,结论很不一致,可能与不同环境有关。如果以硝化回收率作为土壤的硝化力,则不同土壤硝化力的剖面分布

表3 供试土壤主要性质与硝化量之间的相关性

Table 3 Relationship between soil general properties and  $\text{NO}_3\text{-N}$  maximal accumulation

| 土壤性质          | 相关性    | 土壤性质          | 相关性     |
|---------------|--------|---------------|---------|
| Soil property | r      | Soil property | r       |
| 有机质           | 0.354  | 速效钾           | 0.469   |
| 全氮            | 0.246  | CEC           | -0.446* |
| 矿质氮           | 0.712* | pH            | 0.244   |
| 全磷            | 0.509* | 物理性粘粒         | -0.678* |
| 速效磷           | 0.28   |               |         |

见图 2, 由图 2 可清楚看出, 硝化作用在耕层土壤中显著高于下层土壤; 粗质土壤显著高于粘质土壤, 北部土壤显著高于南部土壤。

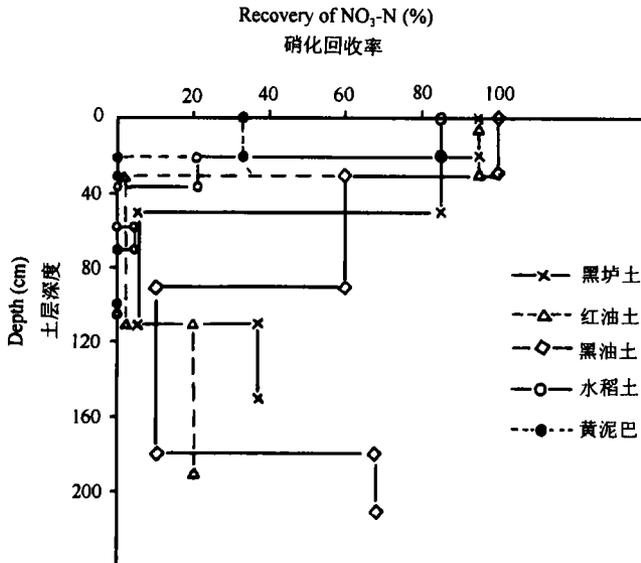


图2 不同土壤硝化力的剖面分布

Fig.2 Difference of nitrification in soil profiles

2.2.2 与土壤固铵能力的关系 氮肥施入土壤后,除了进行硝化作用外,还参与其它变化过程,如粘土矿物的固定,生物固定,氨挥发。前述的23种土壤样品中,没有发生硝化作用或硝化作用极其微弱的土壤,在培养结束时铵态氮也趋于零。根据土壤物理特性,我们怀疑铵态氮的大量消失与土壤固铵有关。为了验证这一问题,我们对硝化作用旺盛、微弱或没有发生硝化作用的土壤进行了铵固定试验(表4),结果表明耕层土壤施入铵态氮后除黄泥巴外,在培养时间内,固定态铵的变化不大。土壤原有的固定态铵和培养时间结束时固定态铵相差在10mgN左右,相差很小。这是因为耕层土壤经过长期施肥,使土壤固铵容量基本达到饱和的缘故。这与樊小林在瘠土上的研究结果<sup>[15]</sup>相一致。四种下层土壤在培养期间,铵态氮的固定量是随培养时间的延长而增加,固铵量达58%~97%,最高是黄泥巴,耕层也达61%,下层达97%。Axley和Legg<sup>[16]</sup>报道:在具有不同固铵容量的土壤中,加

表4 不同土壤在硝化过程中对铵固定情况

Table 4 Ammonium fixation in different soils during the process of nitrification (mg/kg)

| 土壤<br>Soil | 土层深度<br>Depth<br>(cm) | 原土<br>Initial fixation | 固定态铵  |       |       | 固定率<br>Fixed ammonium (%) |
|------------|-----------------------|------------------------|---|-------|-------|---------------------------|
|            |                       |                        | Fixed NH <sub>4</sub> -N during nitrification |       |       |                           |
|            |                       |                        | 4d  | 9d    | 15d   |                           |
| 黑垆土        | 0~20                  | 203.0                  | 196.5   | 224.6 | 211.0 | 8.0                       |
|            | 110~150               | 181.8                  | 200.5   | 216.6 | 240.0 | 58.1                      |
| 黑油土        | 0~30                  | 221.8                  | 224.6   | 205.2 | 219.2 | 0                         |
|            | 90~180                | 173.7                  | 235.3   | 250.5 | 259.3 | 85.6                      |
| 水稻土        | 0~20                  | 208.5                  | 240.6   | 235.3 | 226.6 | 18.1                      |
|            | 58~70                 | 192.5                  | 219.3   | 235.3 | 250.3 | 57.8                      |
| 黄泥巴        | 0~20                  | 213.9                  | 287.2   | 267.4 | 275.2 | 61.3                      |
|            | 20~30                 | 213.0                  | 248.7   | 307.5 | 310.0 | 97.0                      |

入铵态氮对硝化细菌的有效性随着土壤固铵容量的增加而明显的降低。对高固铵能力的土壤来说,在 50 天的培养时间内,仅有 10%~15% 的加入铵态氮以硝态氮的形式被回收。本试验垆土属于高水平的固铵土壤,在各自然层次中,粘化层(90~147cm)固铵能力最强<sup>[17]</sup>。黄泥巴的 B 层蛭石含量很高,固铵能力很强。黑垆土和水稻土的两个下层土壤固铵能力也不低。所以在培养 15 天内,固定态铵继续上升,硝态氮累积很小,甚至没有累积。

由此可知,前面对不同土壤硝化作用测定中,陕南粘重土壤和关中粘化层或粘重土壤,其硝化作用之所以极度微弱,主要是由于土壤对施入铵态氮产生固定作用的结果。

## 参 考 文 献

1. 朱建国. 硝态氮污染危害与研究展望. 土壤学报, 1995, 32(增刊): 62~69
2. 张树兰. 陕西几种土壤中硫酸铵的硝化作用及其影响因素. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 64~68
3. Gilmour J T. The effect of soil properties on nitrification and nitrification inhibition. Soil Sci. Soc. Am. J., 1984, 48: 1262~1266
4. 李良谟. 太湖地区几种土壤的硝化作用及其影响因素. 土壤, 1987, 19(6): 289~293
5. Hadas A S, Feigenbaum A F, Portnoy K. Nitrification rates in profiles of differently managed soil types. Soil Sci. Soc. Am. J., 1986, 50: 633~639
6. Sabey B R, Frederick L R, Bartholomew W V. The formation of nitrate from ammonium nitrogen in soils: III. Influence of temperature and initial population of nitrifying organisms on the maximum rate and delay period. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1959, 23: 462~465
7. Sabey B R, Frederick L R, Bartholomew W V. The formation of nitrate from ammonium nitrogen in soils: IV. Use of the delay and maximum rate phases for making quantitative predictions. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1969, 33: 276~278
8. Tanji K K. Modeling of soil nitrogen cycle. In: Stevenson F J. ed. Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy, 1982, 22: 721~772
9. Van Veen J A, Frissel M J. In Frissel M J, Van Veen J A. ed. Simulation Model of the Behaviour of Soil-Plant Systems. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (PU-DOC), Wageningen, The Netherlands, 1981. 126~144
10. Nommik H, Vahtras K Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. In Stevenson F J. ed.

- Nitrogen in Agricultural Soils. *Agronomy*, 1982, 22: 123~171
11. Sahrawat K L. Nitrification in some tropical soils. *Plant and Soil*, 1982, 65: 281~286
  12. Martin A E, Cox J E. Nitrogen studies on black soils from Darling Downs, Queensland II. the nitrifying activity of subsurface horizons. *Aust. J. Agric. Res.*, 1956, 7: 184~193
  13. Hadas A, Feigenbaum S, Feign A, Portnoy R. Nitrogen mineralization rates in profiles of differently managed soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, 50: 314~319
  14. Anderson Q E. The effect of low temperatures on nitrification of ammonia in cecil sandy loam *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1960, 24: 286~289
  15. 樊小林, 李昌纬, Mengel K. 土壤中非代换铵(固定态)的有效性. *土壤学报*, 1990, 27(3): 301~307
  16. Axley J H, Legg J Q. Ammonium fixation in soils and the influence of potassium on nitrogen availability from nitrate and ammonium source. *Soil Sci.*, 1960, 90: 151~156
  17. 孙 艳. 土壤中固定态铵的含量及其对作物的有效性. *土壤通报*, 1989, 20(5): 205~207

## NITRIFICATION AND DYNAMICS IN PROFILES OF DIFFERENTLY MANAGED SOIL TYPES

Zhang Shu-lan Yang Xue-yun Lu Dian-qing Tong Yan-an

(Shaanxi Soil and Fertilizer Institute, Yangling 712100)

### Summary

The 23 soil samples including the 6 types of managed soils were collected from different regions in Shanxi Province for this research project. The change of nitrate nitrogen accumulation with time was determined during the process of nitrification. The equation,  $dN/dt = bN(B-N) / B$  ( $N$  is the amount of  $\text{NO}_3\text{-N}$  accumulation,  $t$  is time of incubation, and  $B$  is the asymptotic value of  $\text{NO}_3\text{-N}$ , depending on the amount of  $\text{NH}_4\text{-N}$  added to the soil), was used to represent the accumulation of nitrate nitrogen with time. The maximal rate of nitrification ( $K_{\text{mx}}$ ) and the delayed period ( $t_d$ ) were derived from the equation and used to characterize quantitatively the nitrification process in various soil samples. The  $K_{\text{mx}}$  and  $t_d$  of surface soil samples were from 2.7 to 16.58 mg/kg·d and from 1.3~3.5d, respectively. The  $K_{\text{mx}}$  decreased and  $t_d$  increased with soil depth. Some soil properties affected the rate parameters.

**Key words** Soil depth, Nitrification rate, Delayed period, Soil property