

# 温度、水分及不同氮源对土壤硝化作用的影响

张树兰, 杨学云, 吕殿青, 同延安

(西北农林科技大学资源环境学院土肥所, 杨凌 712100)

**摘要:** 选用陕西省 3 个自然生态区 3 种主要耕作土壤土样, 在实验室培养条件下, 研究温度、水分及不同氮肥品种对其硝化作用的影响, 并用  $dN/dt = bN(B-N)/B$  方程描述硝化作用过程中硝态氮含量随时间的累积变化, 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: 不同土壤水分含量对硝化作用的影响在不同土壤间差异明显; 但不同土壤在田间持水量 ( $FHC$ ) 的 60% 时, 硝化作用的最大速率 ( $K_{\max}$ ) 及硝化率最高。土壤温度不仅显著影响硝化作用的最大速率 ( $K_{\max}$ ) 和硝化率, 而且迟缓期 ( $t_d$ ) 也有明显变化。不同氮肥品种对硝化作用的影响主要表现在硝化率不同, 3 种土壤硝化率均为硫酸铵 > 尿素和碳铵 > 氯化铵, 显示硫酸根离子的促进作用和氯离子的强烈抑制作用。但氮肥品种对硝化作用的最大速率 ( $K_{\max}$ ) 和迟缓期 ( $t_d$ ) 的影响不规律。

**关键词:** 硝化作用; 最大速率; 迟缓期; 土壤水分; 温度; 氮肥品种

## Effect of Soil Moisture, Temperature and Different Nitrogen Fertilizers on Nitrification

ZHANG Shu-Lan, YANG Xue-Yun, LÜ Dian-Qing, TONG Yan-An (Soil and Fertilizer Institute, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2147~2153.

**Abstract:** Leaching of nitrate causes several serious environment problems. It is better to understand the nitrification process in different soil types, so that it could be managed, especially in proper fertilization way to reduce nitrate leaching. Nitrification research has not been paid more attention to this area. Purpose of this paper is to study nitrification in three types of managed soils from three ecological regions of Shaanxi Province, China. They were Loess soils from north, Cumulic cinnamon soils from middle and paddy soils from south of the province, the soil pH was 8.18, 8.22 and 6.52, and the physical clay contents were 23.10 %, 40.00 %, and 55.12 %, respectively. The changes of  $NO_3^-$ -N accumulation with time were determined during the process of nitrification under various moisture, temperature regimes and four nitrogen fertilizers in the laboratory incubation. The equation,  $dN/dt = bN(B-N)$ , was used to express the accumulation of nitrate ( $NO_3^-$ ) with time. The maximal rate of nitrification ( $K_{\max}$ ) and the delay period ( $t_d$ ) were derived from the equation and used to characterize quantitatively the nitrification process in different soil conditions.

Soil moisture content obviously affected the nitrification. Particularly significant differences existed among the maximal rates of three soils at the same water content; but the delay period had no remarkable differences. While soil moisture content maintained 40 % of field holding capacity ( $FHC$ ),  $K_{\max}$  of loess soils, cumulic cinnamon soils and paddy soils were 11.4, 4.72 and 2.61  $mg/kg^{-1} \cdot d^{-1}$ , respectively. At 60 % of  $FHC$ ,  $K_{\max}$  were 15.12, 14.04 and 8.55, and  $K_{\max}$  were 14.10, 10.12 and 3.77  $mg/kg^{-1} \cdot d^{-1}$  at 80% of  $FHC$ , respectively.  $K_{\max}$  of cumulic cinnamon soils and paddy soils changed significantly with soil

moisture, but not loess soils. This is related to clay content of soils. Comparison 80 % to 40 % of *FHC*, the latter largely reduced nitrification of loess soils and cumulic cinnamon soils, but not on paddy soil. 60 % of *FHC* was proper for carrying on nitrification.

Nitrification was fairly sensitive to soil temperature,  $K_{\max}$  and  $t_d$  changed largely under low or high soil temperature. When soil temperature was 20 °C and 30 °C,  $K_{\max}$  and  $t_d$  were 6.98, 15.12 mgkg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> and 2.9, 1.46 d for loess soils, 11.28, 14.04 mgkg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> and 6.4, 1.44 d for cumulic cinnamon soils, 3.84, 8.55 mgkg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> and 4.46, 3.45 d for paddy soils, respectively. Temperature of 20 °C not only decreased  $K_{\max}$  but also prolonged  $t_d$ , and 40 °C seriously restrained nitrification in all soil samples. Nitrifying bacteria are more response to soil temperature than to soil moisture. 30 °C was suitable for conducting nitrification under experimental soil samples.

It was no any certain regulation that different nitrogen fertilizers influenced on  $K_{\max}$  and  $t_d$  in all soil samples. After adding ammonium sulfate, ammonium chloride, ammonium bicarbonate and urea,  $K_{\max}$  and  $t_d$  were 15.12, 15.39, 16.28, 18.00 mgkg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> and 1.46, 1.63, 1.41, 1.56 d for loess soils, 14.04, 12.58, 14.40, 9.68 mgkg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> and 1.44, 3.05, 3.32, 2.70 d for cumulic cinnamon soils, 8.55, 4.61, 4.39, 5.36 mgkg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> and 3.45, 3.44, 2.19, 2.54 d for paddy soils, respectively. On loess soils urea had the highest  $K_{\max}$ , ammonium bicarbonate on cumulic cinnamon soils and ammonium sulfate on paddy soils.  $t_d$  had no big difference in each soil sample. However, the maximal NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N accumulation rate of these fertilizers in three soil samples was in a descending order of ammonium sulfate > urea > ammonium bicarbonate > ammonium chloride. The effects on nitrification for the different N fertilizers depended on their anion containing, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> could be beneficial to nitrification, in contrast Cl<sup>-</sup> could seriously restrain nitrification.

**Key words:** nitrification; the maximal rate; delay period; soil moisture; soil temperature; N fertilizers  
文章编号:1000-0933(2002)12-2147-07 中图分类号:Q143 文献标识码:A

近年来,调查研究表明我国许多地区地表水和地下水硝酸盐污染严重<sup>[1]</sup>;陕西省陕北和关中地区 167 个饮用井水中,硝酸盐含量超过世界卫生组织饮用水标准的达 25.2%<sup>[2]</sup>;冬小麦田间试验也表明:不合理施肥当季硝酸盐的移动超过 2m 土层以下。<sup>[3]</sup>土壤中的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,硝化作用进行的快慢受到许多因素的综合制约,如土壤性质、温度和水分等,国外对此做了大量的研究<sup>[4~8]</sup>;我国在硝化作用方面的研究十分有限,仅个别学者对部分地区做了一些基础工作<sup>[9~11]</sup>。为此,探明硝酸盐在不同土壤中形成的条件和数量,进行有效的调节和控制是一个重要的问题,对田间施肥、精确管理十分必要。本文以陕西省 3 个自然生态区的 3 种代表性耕作土壤(黄绵土、土和水稻土)为研究对象,研究温度、水分及不同氮肥品种对硝化作用的影响并以硝化作用过程的速度方程作定量描述。旨在对不同土壤,因地制宜进行合理施肥与灌溉,减少土壤中硝酸盐的淋洗损失及水质污染,提高氮肥利用率提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

供试土样分别采自陕北米脂县泉家沟的黄绵土,关中原陕西省农业科学院西南农田的土,陕南汉中市七里乡季风村的水稻土。其代表陕西省 3 个不同生态区的主要耕作土壤。土壤的主要理化性质见表 1。

1.2 硝化作用培养试验

1.2.1 不同水分的培养试验 称取通过 2 mm 孔筛(10±0.1 g)的风干土样于 50 ml 三角瓶中,加入相当于 N 100 μg/g 土的硫酸铵溶液,使土壤水分达到田间持水量的 40%、60%和 80%,充分混匀。用聚乙烯薄膜盖住瓶口,用棉线将封口扎紧,然后用针在薄膜上刺 2~3 个小孔,置于恒温箱中 30 °C 下培养,并以只加水不施肥作对照。每周称重 1 次,必要时补加失去的水分,在不同时间间隔内取 2 个重复测定铵态氮和

硝态氮。

表 1 供试土壤的主要性质  
Table 1 General properties of different soils

土壤名称 Soil	土层深度 Depth (cm)	全氮 Total N (%)	有机质 Organic matter (g/kg)	矿质氮 Mineral N (mg/kg)	全磷 Total P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	速效磷 Olsen-P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	pH	物理性粘粒 Physical clay content %
黄绵土 <sup>①</sup>	0~20	0.037	4.8	19.0	0.15	3.20	135	8.18	23.10
土 <sup>②</sup>	0~30	0.075	9.2	18.8	0.18	4.00	355	8.22	40.00
水稻土 <sup>③</sup>	0~20	0.172	27.0	20.0	0.16	9.50	117	6.52	55.12

①Yellow loessial soil ②Lou siol ③Rice soil

1.2.2 不同温度的培养试验 按“1.2.1”方法称土,加入等氮量的硫酸铵溶液,使土壤水分达到田间持水量的60%,分别在20、30、和40℃下恒温培养,其它同“1.2.1”法。

1.2.3 不同氮源的培养试验 称取通过2 mm 孔筛(10±0.1 g)的风干土样于50 ml 三角瓶中,加入相当于N 100 μg/g 土的硫酸铵、尿素、碳铵和氯化铵溶液,使土壤水分达到田间持水量的60%,充分混匀。其它同“1.2.1”法。

1.3 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,陕南水稻土用盐酸——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 硝化作用的动力学模型与供试土壤的硝化特征

不同土壤不同处理条件下,土壤硝态氮和铵态氮随时间的变化如图1~图3所示。图中,铵态氮的起始浓度为土壤施肥后即刻浸提测定的结果,曲线所表示的铵态氮和硝态氮含量均为施肥处理减去对照处理。由图可见大部分处理的硝态氮累积曲线呈“S”形,可分为3个不同阶段:迟缓阶段、最大速率阶段和停滞阶段,与 Sabey 等的结果相似<sup>[4]</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<sup>[11]</sup>,由此计算的不同土壤各个处理的最大速率和迟缓期见表2。值得指出的是:硝化作用过程中,水稻土铵态氮的起始浓度小于100mg/kg,铵态氮的瞬时消失可能是土壤化学固定的结果<sup>[12]</sup>。

3种土壤在水分含量为60%FHC及30℃时的硝化作用结果看出(表2及图1,图2):硝态氮累积达最大值所需时间,呈现由陕西北部土壤至南部土壤逐渐增长的趋势;而最大硝态氮累积量占初始施用的铵态氮百分率(即硝化率)亦有较大差异。土壤硝化作用最大速率变幅为8.55~15.12 mg/(kg·d);迟缓期  $t_d$  差异较小,为1.44~3.45d。以陕北黄绵土硝化作用进行最快, $K_{max}$ 为15.12 mg/(kg·d);关中 土居中, $K_{max}$ 为14.04 mg/(kg·d);陕南水稻土最慢, $K_{max}$ 为8.55 mg/(kg·d)。这表明  $K_{max}$  的大小反映了不同地域性土壤种类硝化作用强度,也反映出土壤环境因素对硝化作用过程的综合影响结果。陕南的水稻土  $K_{max}$  明显低于其它两种土壤,可能与土壤质地粘重、通气性差有关,而与水稻土 pH 较低无关,因为通常认为 pH 6.52 时并不影响硝化作用的进行<sup>[13]</sup>。

2.2 土壤水分对硝化作用的影响

不同土壤水分处理条件下,硝态氮和铵态氮随时间的变化见图1。3种土壤硝化作用的最大速率( $K_{max}$ )均以60% FHC 处理最高,80%次之,40%最低;硝化率的变化与最大硝化作用速率趋势基本相同(表2);李良谟等<sup>[9]</sup>的研究结果表明:水稻土在水分含量为65%FHC时,硝化率最高。通常认为,土壤硝化作用进行的最佳水分含量范围为田间持水量的50%~70%,本研究仅设3个水分含量水平,尽管3种土壤在60% FHC 时,硝化作用最强,但此时的水分条件并不完全反映各土壤最适的水分条件。

3种土壤在不同水分状况下硝化作用反应各异:黄绵土在3种水分状况下(40%、60%和80%)的  $K_{max}$  分别为11.41、14.10 mgkg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>;与60% FHC 相比,80%FHC 对最大硝化作用速率影响很小,40%FHC 有一定程度的影响;而 土的  $K_{max}$  分别为4.72、14.04 和10.12 mgkg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>,其中80% FHC 对

硝化作用最大速率有一定的影响,40% *FHC* 则显著抑制了硝化作用;水稻土的  $K_{\max}$  依次为 2.14、8.55 和 3.77  $\text{mgkg}^{-1}\text{d}^{-1}$ ,80% *FHC* 和 40% *FHC* 处理均对硝化作用最大速率有较大的影响。

表 2 土壤硝化作用的最大速率、迟缓和硝化率

土壤 Soil	土壤含水量 * Soil moisture (%)	土壤温度 Soil temperature (℃)	氮肥品种 Nitrogen fertilizers	NO <sub>3</sub> -N 的累积 NO <sub>3</sub> -N accumulation		
				最大速率 Maximal rate( $\text{mg/kg} \cdot \text{d}$ )	迟缓期 Delay period(d)	硝化率 Rate of nitrification (%)
黄绵土	40	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11.4	1.3	87
Yellow loessial soil	60	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15.12	1.46	100
土	80	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14.10	0.81	85
	40	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.72	2.61	56
Lou siol	60	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14.04	1.44	100
	80	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10.12	1.29	86
水稻土	40	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.14	1.63	26
	60	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8.55	3.45	85
	80	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.77	1.13	54
黄绵土	60	20	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6.98	2.9	84
	60	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15.12	1.46	100
土	60	40	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	—	3
	60	20	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11.28	6.4	90
	60	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14.04	1.44	100
	60	40	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	—	5
水稻土	60	20	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.84	4.46	48
	60	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8.55	3.45	85
	60	40	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	—	10
黄绵土	60	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15.12	1.46	100
	60	30	NH <sub>4</sub> Cl	15.39	1.63	75
	60	30	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	16.28	1.41	80
	60	30	Urea	18.00	1.56	84
土	60	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14.04	1.41	100
	60	30	NH <sub>4</sub> Cl	12.58	3.05	74
	60	30	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	14.40	3.32	80
	60	30	Urea	9.68	2.70	80
水稻土	60	30	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8.55	3.45	85
	60	30	NH <sub>4</sub> Cl	4.61	3.44	44
	60	30	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	4.39	2.19	49
	60	30	Urea	5.36	2.54	56

\* 土壤含水量以田间持水量的百分数表示,soil moisture expressed as percent of field holding capacity(*FHC*)

以上结果表明黄绵土硝化作用合适的水分范围较宽, 土次之,而水稻土有很窄的水分范围进行正常的硝化作用。与 80% *FHC* 相比,40% *FHC* 更强烈地抑制黄绵土和 土硝化作用的进行,而水稻土 80% *FHC* 较 40% *FHC* 抑制作用更强些。这些差异可能与土壤物理性质有关,陕西境内土壤的分布由北向南(黄绵土、 土、水稻土)土壤愈加粘重(表 1),这与不同水分状况下土壤通气密切相关。

2.3 土壤温度对硝化作用作用的影响

土壤温度对硝化作用的影响很大。不同温度下硝化作用的结果比较说明(图 2,表 2):与其它温度相比,30℃下硝化作用的硝化率最高、 $K_{\max}$  最大,而  $t_d$  最小;20℃对硝化作用有一定的抑制,硝化率降低, $K_{\max}$  下降,而  $t_d$  增大;40℃下土壤硝化作用非常微弱。

与水分对硝化作用的影响相似,同一温度下不同土壤的硝化作用强度有所不同。在 20℃下,黄绵土和水稻土的硝化速率明显降低, $K_{\max}$  不到 30℃时的一半,而 土相对受影响较小。低温对硝化作用的延迟期

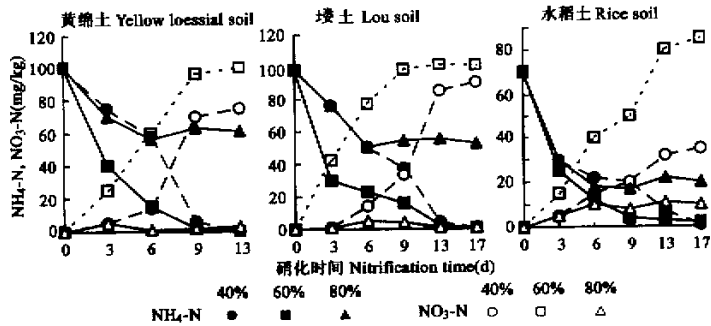


图 1 土壤水分对硝化作用的影响  
Fig. 1 Effect of soil moisture on nitrification

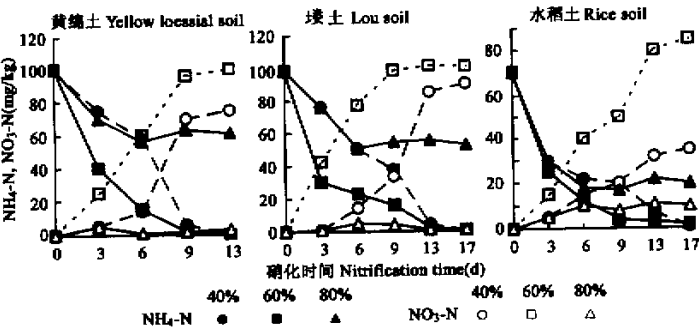


图 2 土壤温度对硝化作用的影响  
Fig. 2 Effect of soil temperature on nitrification

有显著影响,30℃下,3种土壤的 $t_d$ 分别为黄绵土1.5d, 土1.3d,水稻土3.5d;20℃则分别延长为2.9、6.4和4.5d。与土壤水分状况相比,硝化微生物对土壤温度更为敏感。40℃严重抑制了3种土壤的硝化作用,硝态氮最高累积量为10%(水稻土);这可能因为高温降低 $\text{O}_2$ 的溶解度,并增加异养微生物对 $\text{O}_2$ 的需求,硝化微生物在缺 $\text{O}_2$ 条件下活性较低的缘故。Keeney<sup>[14]</sup>曾报道在40℃下土壤的硝化活性很低,没有发生硝态氮的累积。Thiagalingam和Kanehiro<sup>[15]</sup>研究夏威夷4种土壤的硝化作用发现,其中3种土壤在40℃下硝化作用受到很强的抑制,有一种土壤与25℃下硝化作用相同。Brady和Weil认为硝化作用的最适温度范围是25~35℃,低于5℃或高于50℃硝化作用基本停止。这些说明土壤硝化作用的合适温度范围依赖于不同土壤所在的气候带,是硝化微生物长期适应性的表现。本文3种土壤在30℃下有利于进行硝化作用,而其最适硝化作用温度是否有差异还需进一步设定更多的温度梯度进行研究。

在40℃下,3种土壤加入的铵态氮随培养时间的延长而减少(图2),除与土壤对 $\text{NH}_4^+$ 的固定有关外,产生氨挥发损失也是一个重要的原因。吕殿青等<sup>[16]</sup>报道,在石灰性土壤中施入碳酸铵溶液分别在20℃、30℃和40℃下培养12h,氨挥发损失量占施用量分别为2.65%、4.85%和9.12%。由此可见,高温条件下对硝化作用抑制愈强烈,氮的损失也愈多。

2.4 不同氮源对硝化作用的影响

硝化微生物进行硝化作用所必需的基质是铵态氮,铵态氮来源不同对硝化作用可能产生一定的影响。4种不同氮肥施入土壤中的培养试验表明(表2,图3):在3种土壤中硝化率均以硫酸铵最高,氯化氨最低,尿素和碳铵对土壤硝化作用最大速率及延迟期的影响无一定规律性,不同土壤有不同的反应。黄绵土中硝化作用最大速率( $K_{\max}$ )的顺序为,尿素>碳铵>氯化氨>硫酸铵;土的 $K_{\max}$ 大小为,碳

铵>硫酸铵>氯化氨>尿素;水稻土的  $K_{max}$  大小则为,硫酸铵>尿素>氯化氨>碳铵。

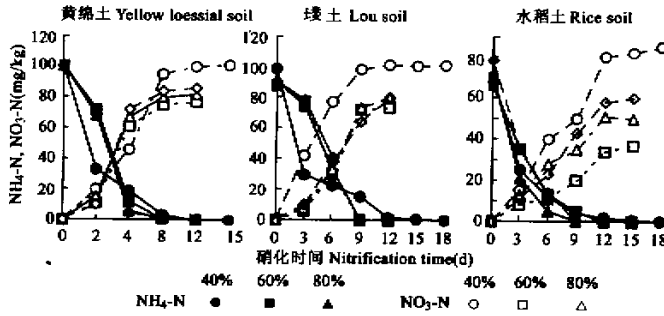


图 3 不同氮肥品种对土壤硝化作用的影响

Fig. 3 Effect of different nitrogen fertilizers on nitrification

上述 4 种肥料对硝化作用的不同影响与其伴随阴离子种类有关。 $SO_4^-$  促进硝化作用的进行,表现为硝化率明显高于其他 3 种肥料。 $Cl^-$  对硝化作用抑制作用也进一步被肯定<sup>[17]</sup>。这也意味着氯化铵可以作为较好的硝化抑制剂加以应用,避免像合成抑制剂(DCD 或 HQ)在土中降解造成效果下降<sup>[18]</sup>的弊病;同时  $Cl^-$  也是作物生长必需的元素之一,对大多数作物有增产作用,在施肥科学上有重要意义。尿素施入土壤后,是经脲酶水解产生铵态氮再进行硝化作用,情况较为复杂。

### 3 小结

3.1 利用硝化作用动力学模型 $[N=B/(1+ce-bt)]$ 定量描述土壤硝化作用过程中硝态氮随时间累积的变化情况,获得  $K_{max}$  和  $t_d$  两个特征值以表述硝化作用的强弱和快慢。

3.2 土壤含水量为田间持水量的 80%对硝化作用有一定抑制作用;40%的含量明显抑制土壤硝化作用的进行;60%的含量是进行土壤硝化作用的合适水分含量。

3.3 土壤温度对硝化作用有显著影响。20℃延缓硝化作用,使迟缓期增大,最大速率降低;40℃严重抑制了陕西 3 种土壤的硝化作用;30℃是该区土壤硝化作用的合适温度。

3.4 不同氮肥品种对硝化作用的影响主要受制于阴离子的种类, $SO_4^-$  促进硝化作用的进行, $Cl^-$  对硝化作用有明显抑制作用。

### 参考文献

[1] Zhang W L(张维理),Tian Z X(田哲旭),Zhang N(张宁),*et al.* Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in north China. *Plant Nutrition and Fertilizers Science* (in Chinese)(植物营养与肥科学报),1995, **1**(2):80~87.

[2] Lu D Q(吕殿青),Tong Y A(同延安),Sun B H(孙本华). Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution. *Plant Nutrition and Fertilizers Science*(in Chinese)(植物营养与肥科学报),1998, **4**(1):8~15.

[3] Zhou S L(周顺利),Zhang F S(张福锁),Wang X R(王兴仁). Studies on the spatio-temporal variations of soil  $NO_3-N$  and apparent budget of soil nitrogen I. Winter wheat. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 2001, **21**(11): 1782~1789.

[4] 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.

[5] Gilmour J T. The effect of soil properties on nitrification and nitrification inhibition. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, **48**:1262~1266.

[6] Flower J. R. O'Caallaghan. Nitrification in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. *Soil Biol. Biochem.*, 1983, **15** (3):337~342.



[ 7 ] Rhoades C C and Coleman D C. Nitrogen minieralization and nitrification following land conversion in montane Ecuador. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999,**31**:1347~1354.

[ 8 ] Sorensen P. Short-term nitrogen transformations in soil amended with animal manure. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001,**33**:1211~1216.

[ 9 ] Li L M(李良谟). Nitrification and its influencing factors in some soil types in TaiHu area. *Soils*,1987,**19**(6):289~293.

[10] Zhu Z L(朱兆良). Transformation of nitrogen in paddy soil and rational application of nitrogen fertilizers. *Chinese Journal of Chemistry*(in Chinese)(化学通报),1994,**9**:15~17.

[11] Zhang S L(张树兰),Yang X Y(杨学云),Lu D Q(吕殿青),*et al.* Nitrification and dynamics in profiles of differently managed soil types. *Acta Pedologica Sinica*(土壤学报),2000,**37**(3):372~379.

[12] 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.

[13] Brady N C. Nitrogen and Sulfur Economy of Soils. In: Brady N. C. and Weil R. R. ed. *The Nature and properties of soils*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. , 1999.

[14] Keeney d R. A literature review. *Soil Sci.* , 1980, **26**: 159~171.

[15] Thiagalingam K, And Kanehiro Y. Nitrification in some tropical soil. *Plant and Soil*, 1982,**65**:281~286.

[16] Lu D Q(吕殿青),Liu X L(刘杏兰),Wu C Z(吴长征),*et al.* A study on the conditions of ammonium volatilization and preventable ways in calcareous soil. *ShaanXi Journal of Agricultural Sciences*(in Chinese)(陕西农业科学), 1980,**6**:7~10.

[17] Liu K(刘康),Yin O(殷欧). The preliminary study on effect of nitrification inhibition on ammonium chloride. *Soils and Fertilizers*(in Chinese)(土壤肥料),1990,(1):21~23.

[18] Xu X K(徐星凯),Zhou L K(周礼恺),Osward Van Cleemput. Effect of urease/nitrification inhibitors on the behavior of urea-N in the soil planted to rice. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报),2001,**21**(10):1682~1686.



《动物学报》征订启事

《动物学报》是中国科学院动物研究所与中国动物学会主办、科学出版社出版的国家级学术期刊,是中国自然科学核心期刊以及国家期刊方阵“双百”期刊。《动物学报》具有广泛的读者群,并被许多生物学期刊、高校学报、农林科学期刊、地理科学期刊、医药科学期刊、自然科学综合期刊以及其它(化学、物理学、环境科学和心理学)期刊引用。许多检索系统和数据库收录本刊,包括《中国科学文献数据库》、《中国科学引文索引》、《中文科技期刊数据库》、《万方数据资源系统》、《中文核心期刊要目总览》、《中国科技论文统计与分析》等;国外的有:《生物学文摘》(AJ)、《化学文摘》(CA)、《生物学文摘》(BA)和《动物学记录》(ZR)。

《动物学报》刊登动物学各研究领域中原创性的研究论文和研究方法介绍。优先发表创新突出、理论性强和有关中国特有动物的研究论文,并刊登特定研究领域中的综述(以特约稿为主)以及新书评介和重要学术会议信息等。本刊中、英文稿兼收,欢迎投英文稿。来稿请寄:北京海淀区中关村路 19 号《动物学报》编辑部;邮编:100080;电话:010-62624530;E-mail:zool@panda.ioz.ac.cn.

《动物学报》(ISSN 001-7302,CN 11-1828/Q)为双月刊,邮发代号 2-497,2003 年订价 30 元/册。欢迎在《动物学报》刊登广告,欢迎到邮局订阅《动物学报》,也可与本刊编辑部联系有关事宜。