

# 培养温度和土壤类型对土壤硝化特性的影响\*

王帘里<sup>1, 2, 3</sup> 孙波<sup>1†</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南新乡 453003)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要** 采用室内恒温好气培养方法, 研究了温度 (15°C、20°C、25°C和30°C) 和土壤类型 (黑土、潮土和红壤) 对土壤硝化率的影响。氮素加入比率为N 200 mg kg<sup>-1</sup>土壤。结果表明: 在15~30°C培养范围内, 随着培养温度的升高, 硝化率呈升高趋势; 硝态氮累积量和培养积温 (培养温度×培养天数, 温度以0°C为基准) 之间的关系可用单参数指数模型表示。在相同培养温度条件下, 供试土壤硝化率从大到小的顺序为: 高有机质含量潮土> 低有机质含量潮土> 高有机质含量黑土> 低有机质含量黑土> 低有机质含量红壤> 高有机质含量红壤。硝化率 (25°C恒温培养) 与土壤全磷含量、全钾含量、黏粒含量及pH呈极显著相关; 土壤pH和全磷含量解释了硝化率差异的98.1%。土壤pH是影响其硝化率的主要因素, 并抑制土壤有机质含量及温度对硝化率的影响。

**关键词** 硝化率; 温度; 土壤类型; pH; 有机质

**中图分类号** S152.3; S153.1 **文献标识码** A

硝化作用是微生物将铵氧化为硝酸, 并从中获得生活所需能量的过程。土壤硝化作用关系到氮素矿化-生物固持等作用及氮素损失, 是土壤及肥料氮素转化中的一个重要环节<sup>[1]</sup>, 具有重要的农学意义和环境意义<sup>[2]</sup>。

在温度的影响方面, 已有学者研究了不同温度下森林土壤有机氮的矿化<sup>[3]</sup>, 也有研究有机肥或作物秸秆在不同温度及培养时间下的氮素转化<sup>[4-5]</sup>, 并建立出氮累积量随培养积温 (培养温度×培养天数) 的模拟方程<sup>[6]</sup>。对不同区域土壤的研究表明最佳硝化温度不同: Stark<sup>[7]</sup>研究了在 5~50°C 范围内土壤硝化率的变化, 得出最佳硝化温度为 30~35°C; Grundmann 等<sup>[8]</sup>做了相似的研究, 却得出最佳温度是 20~25°C; Dalias 等<sup>[4]</sup>对森林土壤的研究表明最佳硝化温度为 30°C。

土壤质地的差异会导致土壤含水量及通气状况的不同, 进而会影响氮素转化的速率及有效性。一些学者将一定氮含量有机肥施入不同质地土壤<sup>[9-10]</sup>, 研究得出: 有机氮的矿化量和矿化率与土壤砂粒含量呈正相关, 与土壤粉粒及黏粒含量呈显著负相关。一些学者研究了 pH 对土壤硝化率的影响<sup>[11-13]</sup>, 得出: 在一定的 pH 范围内, 硝化率与 pH 呈显著正相关。范晓晖等<sup>[14]</sup>研究表明, 同一剖面土壤有机质含量可能是影响土壤硝化作用的重要因素。尿素具有含氮量高、物理性状好和无副成分等优点, 是世界上使用最多的氮肥, 因此, 研究尿素氮在不同温度及土壤类型下的硝化率, 根据区域土壤特点进行合理施肥, 对创造高产及环境

\* 国家重点基础研究发展规划项目 (2011CB100506)、国家自然科学基金项目 (40871123) 和国家科技支撑计划(2009BAD6B003)资助

† 通讯作者, E-mail: bsun@issas.ac.cn

作者简介: 王帘里 (1982-), 女, 河南周口人, 博士, 主要从事土壤生产力与环境方面的研究, 现供职于中国农业科学院农田灌溉研究所。Tel: 0373-3393207; E-mail: llwangfiri@yeah.net

收稿日期: 2010-06-23; 收到修改稿日期: 2010-10-20

友好型农田生态系统具有重要意义。

本研究采用室内好气培养的方法，评估了温度（15℃、20℃、25℃和 30℃）和土壤类型（黑土、潮土和红壤）对土壤硝化率的影响，旨在比较温度对 3 种农田土壤硝化作用的影响，找出影响硝化率的关键土壤因子（性质），提出不同温度下土壤无机氮素硝化作用的预测方程，为不同区域根据水热条件和土壤特点进行合理施肥、减少氮素损失及提高氮肥利用率提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

供试土壤包括黑土、潮土和红壤 3 个类型，分别取自黑土、潮土和红壤的典型分布区域——黑龙江海伦、河南封丘和江西鹰潭。海伦属于中温带季风气候，年平均温度 1.5℃，年降水量 500~600 mm，土壤是松嫩平原典型黑土，有机质含量高，耕作制度是一年一熟制；封丘属于暖温带季风气候，年平均温度 13.9℃，年均降水量 605 mm，土壤是黄河沉积物发育的潮土，一年两熟制；鹰潭属于中亚热带季风气候，年均温 17.6℃，年降水量 1 795 mm，土壤是第四纪红色黏土发育的红壤，一年两熟或三熟制。每种类型土壤均有高有机质含量和低有机质含量，分别标名为：高有机质含量黑土（BS-H）、低有机质含量黑土(BS-L)、高有机质含量潮土(CS-H)、低有机质含量潮土(CS-L)、高有机质含量红壤(RS-H)和低有机质含量红壤(RS-L)。

土样采集时采样地均处于闲茬期（当季作物收获后，下季作物种植前的空闲期），按“S”形线路布点，分别采取 0~20 cm 的混合土样。土样在室温下风干，剔除作物根系，混匀，过 10 目筛，另取部分过 20 目筛和 100 目筛，供理化性状测定使用，其余放入冷藏柜 4℃下保存。

### 1.2 风干土氮硝化作用培养试验

设定 15℃、20℃、25℃和 30℃四个恒温培养温度，每个温度培养时间为 14 d。称取 10.00 g 土壤于 100 ml 塑料瓶中，加入 10 g 用酸处理过的石英砂，水平摇晃塑料瓶使土壤和石英砂混合均匀，保证土壤的透气性，减少不同土壤质地（黏粒含量）的影响。加适量纯水（根据所配尿素溶液的浓度及加入量，确定此时所加纯水的量，保证培养开始时样品含水量为土壤田间持水量的 65%），塑料瓶口套上保鲜膜，并用牙签戳若干小孔，保证瓶内通气及最小水份损失量，每处理设 42 个重复。在室温预培养 5 d，激活土壤微生物活性。预培养后，向其中 21 个塑料瓶中加入 2.0 mg N 的尿素溶液；其余 21 个塑料瓶加入和 2.0 mg N 的尿素溶液等量的纯水，作空白对照。所有样品放入恒温箱于设定温度培养，均连瓶一起称重并记录，在培养期间每 3~4 d 称重一次来检测并补充损失水份。在培育 0、1、3、5、7、10、14 d 时取加氮处理和空白各 3 份，每份加入 50 ml 2 mol L<sup>-1</sup> KCl 溶液，振荡 1 h，过滤，取滤液 20 ml，用连续流动分析仪测定其中铵态氮和硝态氮含量。

### 1.3 项目测定方法及数据分析

土壤有机质含量测定用重铬酸钾氧化—外加热法，全氮测定采用半微量开氏法，全磷测定采用氢氟酸—高氯酸消煮—钼锑抗比色法，全钾测定采用氢氟酸—高氯酸消煮—火焰光度法，pH 测定采用电位法（水：土=2.5：1）。土壤黏粒粒径采用美国土壤质地划分标准，< 0.002 mm。供试土壤基本理化性状详见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 The physicochemical properties of tested soils

供试土壤	有机质	全氮	全磷	全钾	pH	黏粒含量	田间持水量
------	-----	----	----	----	----	------	-------

Tested soil	OM	TN	TP	TK	(H <sub>2</sub> O)	Clay content (%)	FMC
	(g kg <sup>-1</sup> )						
BS-H	58.92	2.51	0.89	18.60	6.02	29.08	0.29
BS-L	34.67	1.48	0.45	20.16	5.52	30.05	0.26
CS-H	24.42	1.33	0.87	18.22	7.91	27.38	0.27
CS-L	12.81	0.91	0.69	17.68	7.81	26.45	0.20
RS-H	16.31	0.81	0.51	7.96	4.50	41.44	0.22
RS-L	12.11	0.59	0.50	11.55	4.96	41.88	0.23

注: 表中 BS、CS 和 RS 分别代表黑土、潮土和红壤; H 和 L 分别代表高和低有机质含量。下同 Note: BS, CS and RS represents black soil, chao soil and red soil respectively; H and L indicates high OM content and low OM content, respectively. The same below

土壤硝化率 (%) = ((土壤加氮培养后硝态氮含量-原土壤培养后硝态氮含量) / (土壤加氮培养后矿质氮含量-原土壤培养后矿质氮含量)) × 100 (忽略加入氮对土壤氮素的激发效应, 假设石英砂对不同培养时间土壤硝化率的影响无差异)

实验数据用 SPSS 13.0 (SPSS Inc., Chicago, IL) 数据处理系统进行差异显著性分析和回归分析。文中图采用 Origin 7.0 画图软件绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 供试土壤在不同培养温度下硝化率的变化

恒温培养条件下, 随着培养时间的增加, 供试土壤硝化率呈上升趋势; 随着培养温度的升高, 相同培养天数土壤硝化率升高(图 1)。潮土在培养 10 d 后, 硝化率均达到了 100%, 黑土和红壤在培养 14 d 后, 硝化率仍处于上升趋势。高有机质含量红壤在培养 14 d 后, 硝化率小于 2.2%。

将供试土壤在不同培养温度下培养 14 d 后的硝化率进行了差异显著性分析。其中, 由于 CS-H 在不同培养温度下 (20℃、25℃和 30℃) 培养 5 d 后其硝化率均达到了 93% 以上, 所以分析培养 3 d 后其硝化率的差异; 而 CS-L 在不同培养温度下培养 7 d 后其硝化率均达到了 99% 以上, 所以分析培养 5 d 后其硝化率的差异。表 2 中, 黑土 (BS) 硝化率在 25℃ 最高, BS-H 和 BS-L 分别达到了 69.2% 和 31.8%, 显著高于其他 3 个培养温度。红壤 (RS) 硝化率也是在 25℃ 最高, RS-H 和 RS-L 的值分别为 2.2% 和 22.9%, 显著高于其他 3 个培养温度。潮土 (CS) 硝化率在 30℃ 培养温度下最高, CS-H 在该温度下培养 3 d 其硝化率即达到了 96%, CS-L 在该温度下培养 5 d 其硝化率则达到了近 100%, 均显著高于其他 3 个培养温度。

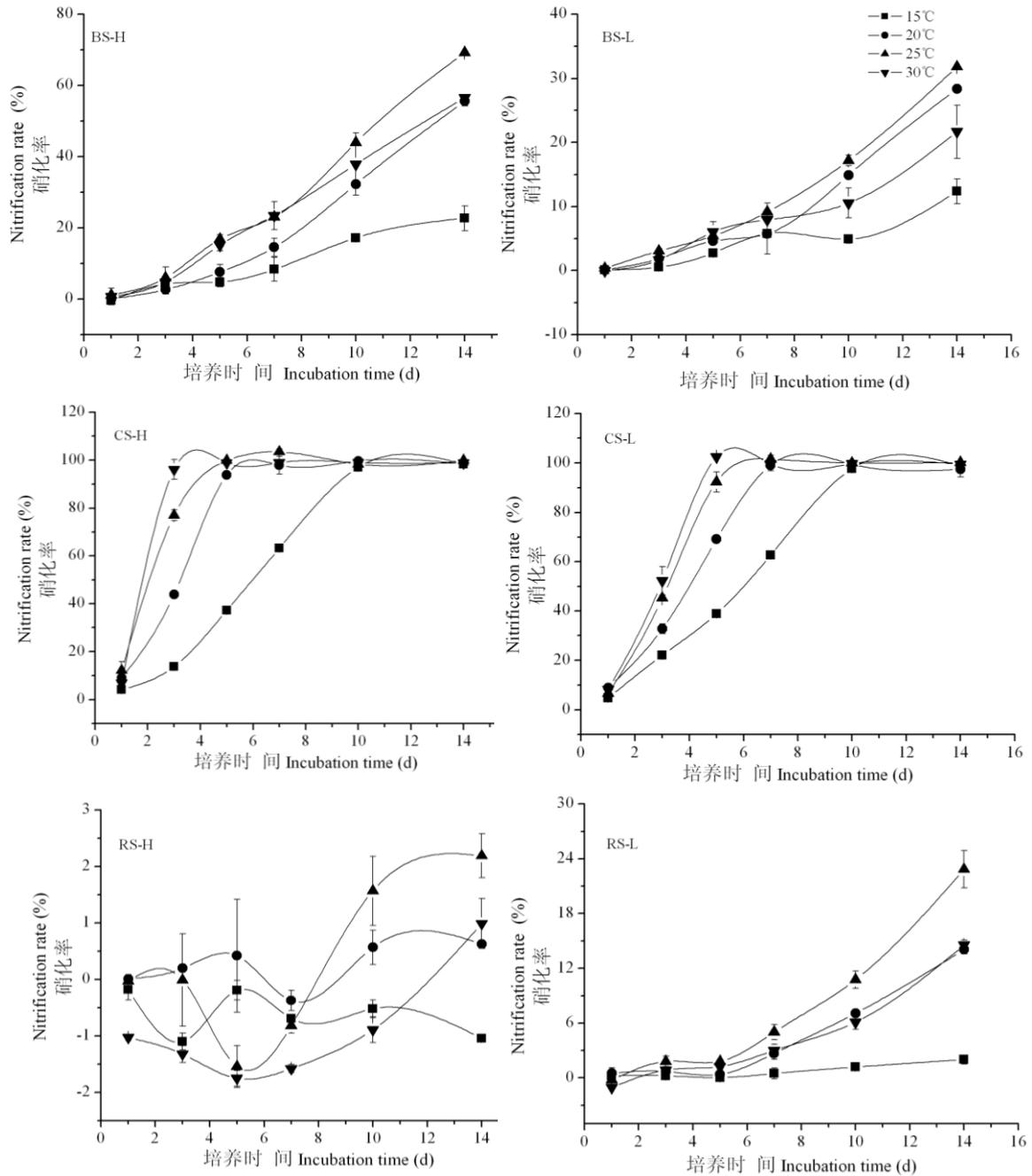


图 1 不同培养温度下（15~30℃）土壤硝化率的变化

Fig. 1 Changes of soil nitrification rates under incubation temperatures of 15°C, 20°C, 25°C, and 30°C

表 2 供试土壤在不同培养温度下的硝化率

Table 2 Nitrification rates of the tested soils under different incubation temperatures (%)

培养温度 Incubation temperature	培养 14 d After 14-days incubation						培养 3 d After 3-days incubation	培养 5 d After 5-days incubation
	BS-H	BS-L	RS-H	RS-L	CS-H	CS-L	CS-H	CS-L
15°C	22.7cB	12.4cC	-1.0cD	2.0cD	98.3aA	98.8aA	13.7d	39.0d
20°C	55.6bB	28.4aC	0.6bE	14.1bD	98.4aA	97.5aA	43.9c	69.1c

25℃	69.2aB	31.8aC	2.2aE	22.9aD	99.9aA	100.2aA	77.0b	92.3b
30℃	56.6bB	21.7bC	1.0bE	14.6bD	98.9aA	99.5aA	96.1a	102.5a

注： 同列（相同土壤不同温度）数值后小写字母不同表示显差异著， $p < 0.05$ ；同行（相同温度不同土壤）数值后大写字母不同表示差异显著， $p < 0.05$  Note: Values in the same column followed by the different lowercase letter indicate a significant difference at  $p < 0.05$  level. Values in the same line followed by the different uppercase letter indicate a significant difference at  $p < 0.05$  level

## 2.2 供试土壤在相同培养温度下硝化率的变化

在相同培养温度条件下，供试土壤硝化率随培养时间的增加呈升高趋势，且在培养前期潮土的增幅显著高于黑土和红壤（图 1）。相同培养温度下，有机质含量影响同种类型土壤硝化率，BS-H > BS-L, CS-H > CS-L, RS-L > RS-H（表 2，图 1）。在 15℃、20℃、25℃ 和 30℃ 四个培养温度点上，相同培养时间土壤硝化率从大到小的顺序均为：CS-H > CS-L > BS-H > BS-L > RS-L > RS-H。

表 2 中，在 15~30℃ 的恒温培养范围内，供试土壤硝化率从大到小的顺序为：潮土 > 黑土 > 红壤，且差异显著（表 2）。对潮土而言，恒温培养 14 d 后，高有机质土壤和低有机质土壤的硝化率均达到 97.5% 以上，无显著差异，但在培养前期，CS-H 硝化率显著大于 CS-L，有机质含量对潮土硝化率的影响显著（表 2，图 1）。对黑土而言，BS-H 硝化率显著高于 BS-L，且相同培养温度下，二者比率约为 2: 1。对红壤而言，RS-H 硝化作用非常弱（-1.0%~2.2%），而 RS-L 硝化率显著高于 RS-H。

## 3 讨论与结论

### 3.1 培养温度对土壤硝态氮累积量的影响

Griffin 等<sup>[6,15]</sup>在忽略加入氮对土壤氮的激发效应的前提下，研究了温度对有机氮（猪粪）在土壤中转化的影响，得出培养积温能很好地预测土壤硝态氮累积量，其中培养积温=培养温度×培养天数。综合本研究结果，图 2 中，随着培养积温的增加，供试土壤硝态氮累积量呈显著增加趋势。Honeycutt 等<sup>[16-17]</sup>发现在作物秸秆和纸浆的分解过程中，土壤硝态氮累积量也随培养温度的升高而增加。此外，Sims<sup>[18]</sup>研究表明，在 0~40℃ 范围内，土壤氮（家禽粪）累积速率和矿化速率均随培养温度的升高而增加。由此可见，土壤硝态氮累积量随温度的升高而增加，且不受外源氮素类型的影响。

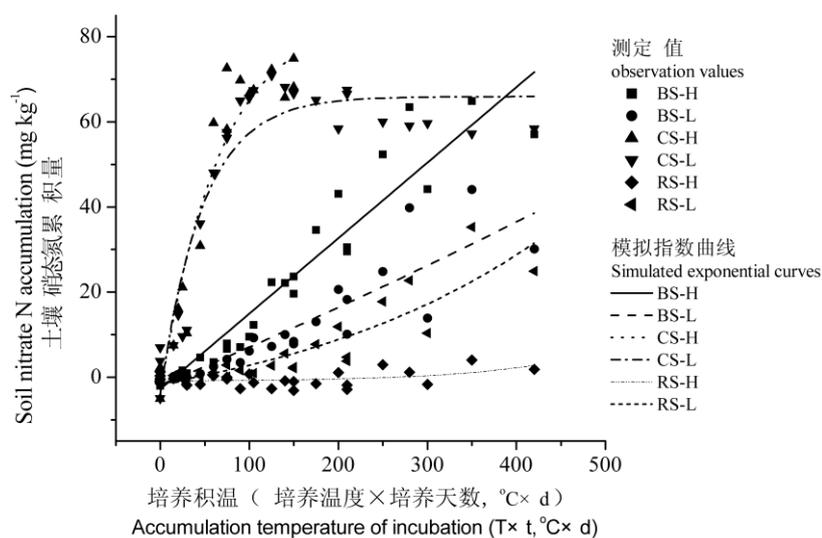


图2 培养积温（培养温度×培养天数）对土壤硝态氮含量的影响

Fig.2 Effect of accumulation temperature of incubation (T×t) on soil accumulated NO<sub>3</sub>-N contents fitted by a single exponential function

本研究中,我们建立了土壤硝态氮累积量和培养积温之间的函数关系式(见表3),BS-L、BS-L、CS-L、CS-L和RS-L的预测方程的决定系数均在0.792以上,能较好地预测硝态氮累积量,而RS-H的决定系数仅为0.204,预测效果差。对比Griffin等<sup>[15]</sup>的研究结果,相同培养条件下粗砂土硝态氮累积量高于粉壤土。Griffin等<sup>[6,15]</sup>在研究温度对有机肥(猪粪等)氮素转化的影响时,发现奶牛粪、家禽粪和猪粪硝态氮累积量和培养积温间存在指数相关关系,相关方程为 $Y=54.10 \times [1 - \exp(-0.0006 \times GDD)]$  ( $R^2=0.85$ );而肉牛粪中的硝态氮由于发生了生物固定,二者的关系不符合该指数方程。可见土壤氮素硝化作用对温度的响应受土壤类型及质地的影响。但是,由于本研究中土壤样本有限,且不同土壤间差异较大,所以预测方程在实际生产应用中还需进一步修正。

表3 供试土壤硝态氮累积量和培养积温（培养温度×培养时间）间的指数方程

Table 3 Single exponential functions between soil nitrate accumulation and accumulation temperature of incubation (T×t)

供试土壤 Tested soil	指数方程式 Exponential models	决定系数 R <sup>2</sup> Determination coefficients R <sup>2</sup>
BS-H	$y=5.79 \times 10^4 \times \exp(x/(3.27 \times 10^7))-5.79 \times 10^6$	0.914
BS-L	$y=188.7 \times \exp(x/2160)-190.6$	0.804
CS-H	$y=-88.45 \times \exp(x/(-65.68))+84.37$	0.936
CS-L	$y=-69.89 \times \exp(x/-47.68)+65.95$	0.916
RS-H	$y=0.095 \times \exp(x/113.9)-0.970$	0.204
RS-L	$y=11.23 \times \exp(x/305.9)-12.76$	0.792

### 3.2 土壤类型对硝化作用的影响

从图1还可以看出,供试土壤在25℃恒温培养下,黑土和红壤硝化率高于其他3个培养温度,潮土在30℃恒温培养下硝化率略高于25℃。所以选取25℃恒温培养14d的硝化率为研究对象,分析土壤性质对硝化率的影响。

表4 供试土壤硝化率（25℃培养14d）和土壤性质之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between soil nitrification rate (incubated at 25℃ for 14 d) and soil properties

项目 Item	有机质 OM	全氮 TN	全磷 TP	全钾 TK	pH (H <sub>2</sub> O)	黏粒含量 Clay content	田间持水量 FMC
硝化率	0.150	0.316	0.790**	0.683*	0.975**	-0.867**	0.168

注: \*和\*\*分别表示显著( $p < 0.05$ )和极显著( $p < 0.01$ )相关 Note: \* and \*\* indicate a correlation significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively

相关分析表明(表4),土壤硝化率和pH呈极显著正相关( $r=0.975^{**}$ ,  $n=12$ ),和土壤有机质含量相关性不显著。范晓晖和朱兆良<sup>[2]</sup>将供试土壤在28℃恒温培养28d,也得出土壤硝化率与pH呈极显著正相关( $r=0.750^{**}$ ,  $n=42$ ),而土壤剖面各层土壤有机质含量与土壤硝化率呈正相关,但不显著。范晓晖等<sup>[19]</sup>对长期试验地潮土的硝化作用的研究也表明,pH在8.0~9.0范围内,随pH升高硝化率升高,而当pH接近9.0或超过9.0时,硝化率下降。可见,pH是影响土壤硝化率的主控因子,且抑制有机质含量对硝化率的影响。

土壤硝化率与土壤全磷、全钾含量显著相关,与土壤黏粒含量呈极显著负相关(表5)。李辉信等<sup>[20]</sup>对红壤的研究结果表明,硝化率与土壤速效磷和有机质含量呈显著正相关。贺发云等<sup>[21]</sup>通过对菜地和旱作土壤氮素转化的研究也发现,土壤硝化率与速效磷及速效钾含量均呈显著正相关。可见,不同土壤类型及种植制度条件下,土壤硝化率与土壤性质的相关

性不同,但土壤性质对硝化率的影响机理还需更进一步研究。Gordillo 等<sup>[9]</sup>和 Sorensen 等<sup>[22]</sup>研究发现,施用有机肥(鸡粪和羊粪)后有机氮的矿化随土壤砂粒含量的增加而增加。Gordillo 等<sup>[9]</sup>也发现家禽粪肥的氮素矿化量与土壤中粉粒及黏粒含量呈负相关。可见,土壤质地也是影响硝化率的因子。

经逐步回归分析得出土壤硝化率的最佳回归方程为:  $Y = -121.9 + 23.49\text{pH} + 49.84\text{TP}$  ( $R^2 = 0.981, n = 18$ )。对本研究中的 6 种土壤而言,调控(增加)土壤 pH 及施用磷肥是提高土壤硝化率的有效措施。

通过对 3 种类型 6 个供试土壤氮硝化作用的研究表明:土壤 pH 是影响硝化特性的主控因素,并抑制土壤有机质含量及温度对硝化率的影响。对潮土而言(pH7.8~7.9),硝化率在 3~10 d 内即达到 100%,铵态氮肥极易被硝化成硝态氮,若作物不能及时吸收,则可能通过淋洗和反硝化造成氮素损失,在施肥时可以根据潮土硝化特点进行少量多次施肥,或者适当调节(降低)土壤 pH,提高肥料利用率及降低水环境风险;对红壤而言,过低的 pH 影响铵态氮肥的转化和被吸收,易造成肥料利用率低,可以用石灰适当提高土壤 pH,提高红壤硝化能力,促进铵态氮肥的转化和被吸收,进而提高红壤生产力;黑土硝化作用适中,较潮土和红壤更能延长肥效,利于作物吸收,提高氮肥利用率。

为了定量描述温度、水分、施肥和土壤类型对土壤硝化特性的影响,未来的研究需要针对土壤性质(如 pH、有机质、质地等)选择梯度变化的土壤样本,增加样本数量;同时增加施肥(肥料种类和数量)和水分处理,延长培养时间,建立不同类型土壤硝态氮累积过程的预测方程,并与田间作物吸氮过程结合起来,最终为提高土壤肥力、节省生产成本和保护环境提供施肥管理技术的理论基础。

## 参 考 文 献

- [1] 朱兆良, 王启孝. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. Zhu Z L, Wen Q X. Nitrogen in soils of China (In Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992
- [2] 范晓晖, 朱兆良. 我国几种农田土壤硝化势的研究. 土壤通报, 2002, 33(2): 124-125. Fan X H, Zhu Z L. Potential of nitrification in the three soil profiles of China (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(2): 124-125
- [3] 周才平, 欧阳华. 温度和湿度对长白山两种林下土壤氮矿化的影响. 应用生态学报, 2001, 12(4): 505-508. Zhou C P, Ouyang H. Influence of temperature and moisture on soil nitrogen mineralization under two types of forest in Changbai Mountain (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(4): 505-508
- [4] Dalias P, Anderson J M, Bottner P, et al. Temperature responses of net nitrogen mineralization and nitrification in conifer forest soils incubated under standard laboratory conditions. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34: 691-701
- [5] Hadas A, Bar-Yosef B, Davidov S, et al. Effect of pelleting, temperature, and soil type on mineral nitrogen release from poultry and dairy manures. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47: 1 129-1 133
- [6] Griffin T S, Honeycutt C W. Using growing degree days to predict nitrogen availability from livestock manures. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 1 876-1 882
- [7] Stark J M. Modeling the temperature response of nitrification. Biogeochemistry, 1996, 35: 433-445
- [8] Grundmann G L, Renault P, Rosso L, et al. Differential-effects of soil-water content and temperature on nitrification and aeration. Soil Science Society of America Journal, 1995, 59: 1 342-1 349
- [9] Gordillo R M, Cabrera M L. Mineralizable nitrogen in broiler litter II. Effect of selected soil characteristics. Journal of Environmental Quality, 1997, 26: 1 679-1 686
- [10] Thomsen I K, Olesen J E. C and N mineralization of composted and anaerobically stored ruminant manure in differently textured soils. Journal of Agricultural Science, 2000, 135: 151-159
- [11] Dancer W S, Peterson L A, Chesters G. Ammonification and nitrification of N as influenced by soil pH and previous N treatments. Soil Science Society of America Proceeding, 1973, 37: 67-69
- [12] 范晓晖, 孙永红, 林德喜, 等. 长期试验地红壤与潮土的矿化和硝化作用特征比较. 土壤通报, 2005, 36(5): 672-674. Fan X H, Sun Y H, Lin D X, et al. The characteristics of mineralization and nitrification in red soil and calcareous soil from long term

- fertilization experiments (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(5): 672-674
- [13] 李良谟, 潘映华, 周秀如, 等. 太湖地区主要类型土壤的硝化作用及其影响因素. *土壤*, 1987, 19(6): 289-293. Li L M, Pan Y, Zhou X R, et al. The effect factors and nitrification of the mainly soil types in the Tai Lake region (In Chinese). *Soils*, 1987, 19(6): 289-293
- [14] 范晓晖, 朱兆良. 旱地土壤中的硝化—反硝化作用. *土壤通报*, 2002, 33(5): 385-391. Fan X H, Zhu Z L. Nitrification and denitrification in upland soils (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(5): 385-391
- [15] Griffin T S, Honeycutt C W, He Z. Effects of temperature, soil water status, and soil type on swine slurry nitrogen transformations. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 36: 442-446
- [16] Honeycutt C W, Potaro L J, Halteman W A. Predicting nitrate formation from soil, fertilizer, crop residue, and sludge with thermal units. *Journal of Environmental Quality*, 1991, 20: 850-856
- [17] Honeycutt C W, Potaro L J, Avila K L, et al. Residue quality, loading rate and soil-temperature relations with hairy vetch (*vicia-villosa roth*) residue carbon, nitrogen and phosphorus mineralization. *Biological Agriculture and Horticulture*, 1993, 9: 181-199
- [18] Sims J T. Nitrogen transformations in a poultry manure amended soil—Temperature and moisture effects. *Journal of Environmental Quality*, 1986, 15: 59-63
- [19] 范晓晖, 林德喜, 沈敏, 等. 长期试验地潮土的矿化与硝化作用特征. *土壤学报*, 2005, 42(2): 340-343. Fan X H, Lin D X, Shen M, et al. Characteristics of mineralization and nitrification in the calcareous soils from a long-term fertilization experimental field (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2): 340-343
- [20] 李辉信, 胡锋, 刘满强, 等. 红壤氮素的矿化和硝化作用特征. *土壤*, 2000, 32(4): 194-197. Li H X, Hu F, Liu M Q, et al. Characteristics of nitrogen mineralization and nitrification in red soils (In Chinese). *Soils*, 2000, 32(4): 194-197
- [21] 贺发云, 尹斌, 蔡贵信, 等. 菜地和旱作粮地土壤氮素矿化和硝化作用的比较. *土壤通报*, 2005, 36(1): 41-44. He F Y, Yin B, Cai G X, et al. Comparison of nitrogen mineralization and nitrification in upland soils grown with vegetables and food crops (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(1): 41-44
- [22] Sorensen P, Jensen E S. Mineralization of carbon and nitrogen from fresh and anaerobically stored sheep manure in soils of different texture. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, 19: 29-35

## EFFECTS OF INCUBATION TEMPERATURE AND SOIL TYPE ON SOIL NITRIFICATION

Wang Lianli<sup>1, 2, 3</sup> Sun Bo<sup>1†</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang, Henan 453003, China*)

(3 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract** An incubation experiment was conducted to evaluate the effects of temperature and soil types on soil net nitrification rate. Four temperatures (15, 20, 25, and 30°C) were set, and three types of soils (black soil, chao soil, and red soil) with high and low content of soil organic matter (SOM) were selected. Urea N was applied at an equivalent rate of 200 mg kg<sup>-1</sup> soil. All soil nitrification rates increased along with incubation temperature within the range of 15~30°C, and the relationship between accumulated soil NO<sub>3</sub>-N contents and accumulation temperature of incubation ( $T \times t$ , °C × d) could be fitted by a single exponential model. Under the same incubation temperature, the soil nitrification rates decreased in a sequence of: chao soil with high SOM > chao soil with low SOM > black soil with high SOM > black soil with low SOM > red soil with low SOM > red soil with high SOM. There was a significant relationship between soil nitrification rate (incubated under 25°C for 14 days) and soil total phosphorus (TP), total potassium (TK), clay content and pH. Soil pH and TP content was the key factors controlling nitrification rate ( $R^2=0.981$ ).

**Key words** Nitrification rate; Temperature; Soil type; pH; Organic matter