

中亚热带水热条件对农田置换土壤硝化强度的影响

郑宪清^{1,2}, 孙 波^{2,*}, 胡 锋¹, 李辉信¹, 孔 滨², 王帘里²

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏南京 210008)

摘要:水热条件是影响土壤硝化过程的主要环境因素。选择我国东部地区 3 种主要农田土壤(黑土、潮土、红壤), 在江西鹰潭设置野外土壤置换试验, 模拟研究中亚热带水热条件对不同土壤硝化强度的影响。2006 年的试验结果表明: 玉米生育期中, 水热条件的变化影响土壤硝化强度的变化, 从玉米种植前(2006 年 4 月 17 日)到生长旺盛期(2006 年 7 月 10 日), 月平均气温由 19.4℃ 上升到 30.2℃, 月降水量由 335.6mm 减少到 59.2mm, 3 种土壤硝化强度均下降, 黑土、潮土和红壤分别下降 63.0% ~ 84.8%、42.9% ~ 66.7% 和 43.7% ~ 46.2%; 到玉米成熟期(月平均气温 29.25℃, 月降水 175.6mm), 土壤硝化强度又有所升高。土壤类型显著影响了土壤硝化细菌数量和硝化强度, 硝化细菌数和硝化强度大小顺序为: 潮土 > 黑土 > 红壤。土壤 pH 显著影响土壤硝化强度, 相关系数 $r=0.778$ ($P<0.01$)。此外, 在玉米生育期, 施用 N、P、K 化肥后, 3 种土壤的硝化细菌数以及硝化强度均升高。总体上, 区域水热状况、土壤性质和施肥均影响土壤硝化强度, 而且土壤与气温以及施肥处理之间存在显著的交互作用。

关键词:土壤硝化细菌; 土壤硝化作用强度; 气温; 降雨; 中亚热带

文章编号: 1000-0933(2009)02-1024-08 中图分类号: S154.36, S181 文献标识码: A

Impact of temperature and rainfall on soil nitrification intensity in the middle subtropical region

ZHENG Xian-Qing^{1,2}, SUN Bo^{2,*}, HU Feng¹, LI Hui-Xin¹, KONG Bin², WANG Lian-Li²

1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 1024 ~ 1031.

Abstract: The main factors influencing soil nitrification process are temperature and rainfall. In order to identify the interaction of climate, soil types and fertilization on the soil nitrification process, three main types of cropland soils from east China, i. e. Phaeozem, Cambisols and Acrisols, were selected to set up the soil displacement experiment in Red soil Ecological Experiment Station in Yingtan, Jiangxi Province, China. One-year experiment showed that soil nitrification intensity (SNI) changed with temperature and rainfall during the maize growing season. SNI decreased from the maize sowing to the blooming stage by 63.01% – 84.84% for Phaeozem, 42.94% – 66.74% for Cambisols and 43.67% – 46.20% for Acrisols, with an increase of monthly average temperature from 19.4℃ to 30.2℃ and a decrease of monthly rainfall from 335.6 mm to 59.2mm. SNI increased from blooming stage to maturity stage, with the monthly averaged temperature decreased by 1℃ and monthly rainfall increased by 116.4mm. Soil nitrobacteria number and SNI were affected by soil type, which was in a sequence of Cambisols > Phaeozems > Acrisols. Soil pH affected significantly SNI, with a correlation coefficient of $r=0.778$ ($P<0.01$). During the maize growing season, fertilization of N, P and K increased the

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2005CB121108); 国家自然科学基金资助项目(40871123)

收稿日期:2007-09-20; **修订日期:**2008-03-13

致谢:感谢南京土壤研究所梁音、郝红涛, 中国科学院东北地理与农业生态研究所张兴义、隋跃宇在野外试验设置中的帮助; 感谢南京农业大学资源与环境科学学院刘满强、陈小云在实验室分析中的帮助; 感谢南京农业大学农学院陈长青, 资源与环境科学学院赵莉敏在数据处理中的帮助。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bsun@issas.ac.cn

number of soil nitro bacteria and the SNI in the three soils. In generally, temperature, rainfall, soil type and fertilization affected soil nitrification process, and there were interactions between soil and temperature, and between soil and fertilization.

Key Words: soil nitro bacteria; soil nitrification intensity; temperature; rainfall; middle subtropical region

土壤氮循环是影响作物生长和环境的重要过程。在全球尺度上对不同生态系统中氮循环的研究表明,凋落叶中氮的分解在不同的气候条件下主要受凋落叶中氮的含量及残留量的驱动^[1]。在农田生态系统中,有机氮和化肥氮的转化过程(如土壤氮的矿化、硝化过程、反硝化过程)受温度、水分、pH、质地、有机质、植被等因素综合影响。在环境因素中,温度、水分等环境条件通过影响微生物活性影响了土壤的硝化过程。Cookson 等对森林、草地和农田土壤的室内培养试验表明温度是通过影响土壤供碳能力和微生物的种群组成间接地影响了土壤硝化强度^[2]。Dalias 等^[3]发现不同类型土壤硝化作用的适宜温度不同,来自寒冷地区的土壤中硝化作用的最适温度较低。周才平等^[4]对森林土壤的室内土柱试验表明,在 5 ~ 25℃ 范围内,土壤硝化速率与温度和含水量呈正相关;当温度超过 25℃,含水量超过 0.20kg/kg 时,净硝化速率反而降低,同时温度和湿度对土壤硝化过程有明显交互作用。张树兰等^[5]对陕西 3 种主要农田土壤(黄绵土、螻土、水稻土)的实验室培养试验表明,除了温度、水分和氮肥种类对土壤硝化作用的影响外,土壤性质也影响了硝化强度,水稻土的最大硝化速率较其他 2 种土壤低。范晓辉等^[6]基于红壤与潮土的长期施肥试验表明酸性红壤的硝化强度明显低于偏碱性的潮土,而长期施用有机肥和化肥对不同土壤氮素硝化速率的增加作用不同。

上述对土壤微生物硝化强度影响因素的研究或以实验室控制试验为主,或针对一种土壤类型,因此无法了解野外条件下土壤硝化强度的变化及其主要影响因子。在对比研究不同地区土壤的性质对土壤硝化过程的影响时,由于试验设置在不同地点和气候条件下,因此无法剔除水热条件不一致导致的差异;同时,不同农田土壤的对比试验在研究环境条件对土壤氮转化过程影响时,也无法揭示土壤条件对这种环境响应的影响,而这是全球气候变化条件下农田土壤氮素管理的一个重要问题。本文针对我国东部主要的农田土壤类型(温带的黑土、暖温带的潮土,中亚热带的红壤),通过在野外设置可比性的土壤置换试验,研究相同气候条件下不同土壤硝化强度的变化,分析水热条件、土壤类型和土壤性质对硝化细菌数量和硝化强度的综合影响,为提出的适应水热变化的农田养分管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤及实验小区的设计

在中国东部南北热量梯度带上的主要农区选择 3 种土壤:黑龙江海伦(代表温带大陆性季风气候)的中厚层黑土(Phaeozems),河南封丘(代表半干旱、半湿润的暖温带季风气候)黄河冲击物发育的潮土(Cambisols)和江西鹰潭(代表中亚热带湿润季风气候)第四季红粘土发育的红壤(Acrisols),分别置换至江西鹰潭的中国科学院红壤生态试验站(116°55'E, 28°15'N)。研究气候、土壤和施肥对土壤养分转化过程的影响。本文主要研究在中亚热带湿润季风气候条件下,施肥、土壤性质和施肥对土壤硝化过程的影响。

试验小区规格为:1.2m 宽 × 1.4m 长 × 1m 深,小区隔墙厚 20cm(高出地面 30cm),以砖砌水泥覆盖,底部铺有石英沙,内壁覆盖防水布(防止水肥互渗)。2005 年 9 ~ 10 月,在中国科学院海伦、封丘和鹰潭生态试验站,按小区规格分层(以 20cm 为一层)采集 3 种土壤 1 米深度的剖面,运至鹰潭红壤生态试验站,分层填装到小区中,小区建成后闲田,2006 年 5 月 1 日种植玉米,开始正式的置换试验。试验开始前土壤的基本性质见表 1。

试验设置 2 个施肥处理:(1)不施肥(CK);(2)施肥(NPK),施肥量为 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 75 kg/hm²、K₂O 60 kg/hm²,NPK 肥料分别为尿素、(NH₄)₂HPO₄ 和 KCl。每个处理 3 个重复。种植 1 季玉米(品种为澄海 1 号),采用雨养,不灌溉。2006 年 4 月 30 日(种植前)条施底肥,2006 年 6 月 25 日(玉米拔节期)追施尿素(N

10 kg/hm²)。

表1 3种土壤的基本性质

Table 1 Chemical properties of three soils

土壤类型 Soil type	种植前 Before sowing			收获后 Harvesting					
	黑土 Phaeozems	潮土 Cambisols	红壤 Acrisols	NPK			CK		
				黑土 Phaeozems	潮土 Cambisols	红壤 Acrisols	黑土 Phaeozems	潮土 Cambisols	红壤 Acrisols
有机质 Organic matter(g/kg)	52.40	9.15	8.42	52.22	7.99	9.53	50.98	8.26	8.86
全氮 Total N (g/kg)	2.35	0.95	0.77	2.14	0.50	0.60	2.15	0.76	0.67
全磷 Total P (g/kg)	1.12	0.89	0.27	0.87	0.73	0.24	1.54	0.71	0.23
全钾 Total K (g/kg)	16.68	13.53	7.83	12.91	12.89	6.54	13.59	12.20	5.84
NH ₄ -N (mg/kg)	21.7	16.6	22.0	2.4	2.0	2.6	5.5	2.5	5.1
NO ₃ -N (mg/kg)	10.1	7.3	2.7	7.9	6.3	7.7	9.2	8.0	6.6
速效磷 Available P (mg/kg)	24.47	12.77	26.4	16.58	5.98	31.17	18.84	12.1	35.16
速效钾 Available K (mg/kg)	177.28	76.75	180.18	119.87	60.60	133.10	115.35	53.61	146.59
pH	5.37	7.72	3.98	5.53	7.70	4.01	5.52	7.66	4.02
风干土含水量 Air-dry moisture content (%)	6.37	2.06	3.00	8.51	2.24	7.40	8.61	2.56	3.77
鲜土含水量 Water content in fresh soil (%)	29.73	15.90	19.48	24.58	13.46	15.87	25.04	13.51	17.23

土壤深度 depth:0 ~ 20cm

1.2 研究区气候条件

红壤生态试验站属于中亚热带湿润季风气候。年均温度 17.6℃, ≥10℃ 积温 5528℃, 无霜期 262d; 年均日照时数 1852h, 太阳辐射量 109 × 4.18 kJ/cm², 水热不完全同季(图 1), 降水多集中在 3~6 月份, 夏秋之间常有旱情。地形以低丘岗地为主, 海拔 35~56m。站区土壤主要为第四纪红色粘土发育的红壤, 其下为白垩纪红砂岩, 自然植被多为马尾松-刺灌丛-半干性禾本科草类, 覆盖率 45%。

1.3 采样和分析方法

土样采集时间分别为: 玉米种植前(2006-04-17)、玉米生长旺盛期(2006-07-10, 追肥后 15d)、玉米成熟期(2006-08-17)。用不锈钢土钻(直径 2cm)采集 0~20cm 耕层土壤, 每个小区采用对角线法采集 10 个点左右, 混合后将新鲜土壤装入聚乙烯封口袋中, 用保鲜箱低温冷藏带回实验室。部分风干后磨碎进行理化性状的测定^[7]; 部分放入冰箱于 4℃ 保存, 立即进行硝化细菌数量与硝化强度的测定。

测定方法: 土壤有机质采用重铬酸钾法-硫酸氧化法测定, 全氮采用自动定氮仪(Büchi, Autokjeldahl Unit, K-370)测定, 氨态氮和硝态氮采用 2 mol/L KCl 浸提-连续流动分析仪测定, 全磷采用酸溶-钼锑抗比色法, 速效磷采用碳酸氢钠法, 全钾用氢氧化钠熔融法-火焰光度计测定, 速效钾用乙酸铵提取法-火焰光度计测定, pH 值采用电位法测定(其中黑土、潮土用 0.01 mol/L 的 CaCl₂ 浸提; 红壤用 1.0 mol/L 的 KCl 浸提, 水: 土比为 2.5:1), 含水量采用烘干法测定。土壤硝化细菌数量采用最大或然值法(most possible number, MPN 法), 土壤硝化强度采用悬液培养法测定^[8]。数据的统计分析采用 SPSS13.0。

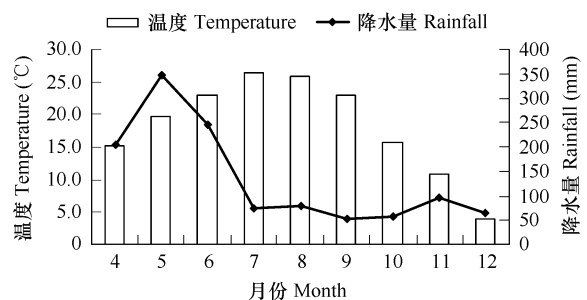


图1 红壤生态试验站常年(2002~2006年)平均月降雨量和月平均温度

Fig. 1 The month average temperature and total rainfall in the Red Soil Ecological Experiment Station from 2002 to 2006

2 结果

2.1 土壤硝化细菌数量的变化

硝化细菌数量在不同土壤、不同施肥处理和玉米的不同生育期均不同(表 2)。虽然一些学者认为 MPN 法测得的细菌数量存在精度方面的问题^[9],但统一测定步骤仍然可以提供了一个比较。

土壤养分含量影响了土壤硝化细菌的数量。3 种土壤中土壤硝化细菌的数量变化幅度比较大,从 $0.1 \times 10^2 \sim 130.75 \times 10^2$ 个/g 干土变化。在整个玉米生育期,3 种土壤中有机质及养分含量的大小顺序是黑土 > 潮土 > 红壤(表 1),但土壤硝化细菌数量的大小顺序是潮土 > 黑土 > 红壤(表 2),这与土壤 pH 的大小顺序一致,说明养分供应能力不是影响土壤硝化细菌数量的唯一因素。

表 2 表土(0~20cm)硝化细菌数($\times 10^2$ 个/g 干土)的变化
Table 2 Change of the total number of soil nitrobacteria($\times 10^2$ /g Dry-soil) (0~20cm)

土种 Soil types	NPK			CK		
	玉米种植前 Before sowing	玉米旺盛期 Blooming	玉米成熟期 Harvesting	玉米种植前 Before sowing	玉米旺盛期 Blooming	玉米成熟期 Harvesting
黑土 Phaeozems	5.80 ± 0.78a	100.18 ± 7.39a	63.04 ± 2.7a	5.80 ± 0.78a	54.14 ± 7.65b	52.78 ± 7.2a
潮土 Cambisols	5.67 ± 0.63a	130.75 ± 1.18a	63.79 ± 5.52a	5.67 ± 0.63a	91.28 ± 6.39a	57.21 ± 8.77a
红壤 Acrisols	0.10 ± 0.01b	11.26 ± 0.91b	3.09 ± 0.06b	0.10 ± 0.01b	0.91 ± 0.07c	0.29 ± 0.02a

平均值后面的不同字母表示显著性差异(纵向比较)($P=0.05$) Means in a column followed by the different letters are significantly different at $P = 0.05$ (Vertical Comparison)

在玉米的整个生长期,施肥增加了土壤中硝化细菌的数量。在玉米生长旺盛期和成熟期,与不施肥(CK)处理相比,3 种土壤中施肥对硝化细菌的增加作用大小顺序均是红壤 > 黑土 > 潮土。这说明在相同的气候和种植条件下,养分含量最低的红壤硝化细菌数量最少,但施肥对硝化细菌数量的增加作用最强。

在玉米的 3 个生育期,土壤硝化细菌数量的顺序是:旺盛期 > 成熟期 > 种植前,这与气温的变化一致,旺盛期、成熟期和种植前的月均温分别为 30.2、29.3℃ 和 19.4℃。这说明温度与其他因素一起影响了土壤中硝化细菌的数量变化。

2.2 硝化强度的变化规律

硝化强度是指亚硝酸氧化细菌将 $\text{NH}_4\text{-N}$ 氧化成 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的作用强度,土壤环境因子对硝化作用的强度有明显的影响。与土壤中硝化细菌数量的变化趋势一致,在玉米生长期中,不同土壤硝化强度的大小顺序是:潮土(98.0% ~ 32.6%) > 黑土(46.3% ~ 7.02%) > 红壤(18.2% ~ 8.29%)(图 2)。丁洪等对潮土在玉米种植期氮肥硝化反硝化损失的研究表明,潮土硝化强度较强,施入的氮肥在 20d 内基本硝化完全^[10];李辉信等对红壤氮素的矿化和硝化过程的研究表明,红壤硝化作用的强度很弱^[11]。

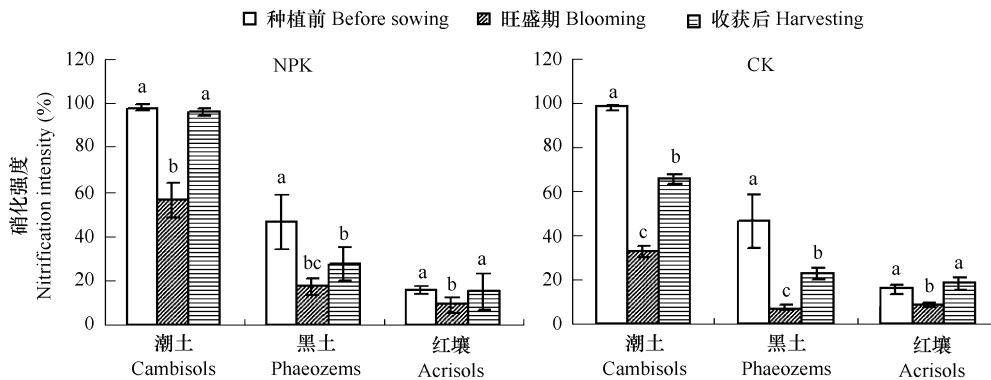


图 2 在玉米生长期 3 种土壤施肥(NPK)和不施肥(CK)处理中土壤硝化强度的变化

Fig. 2 Change of nitrification intensity of three soils during maize growing season for fertilization (NPK) and non-fertilization (CK) treatment

图中不同字母代表显著差异, $P < 0.05$ Different letter represents the significant difference at $P < 0.05$

在相同的施肥量下,以土壤全氮含量(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、氨态氮(NH₄-N)、速效磷(AP)、速效钾(AK)、有机质(OM)、pH、鲜土含水量(W)为自变量,以硝化强度(y)为因变量,进行逐步回归,分析结果表明,在温度、降水量和植被相同的条件下,最优回归方程为:

$$y = -41.5 + 15.2 \text{ pH} + 1.70 \text{ NH}_4\text{-N} - 0.917 \text{ W} \quad (R^2 = 0.759, n = 43) \quad (1)$$

因此,土壤 pH、氨态氮含量和含水量是决定土壤硝化强度的关键因素,其中土壤 pH 与硝化强度的相关性最强,相关系数 $r = 0.778 (P < 0.01)$ 。

同样,施肥也提高了土壤的硝化强度。但在玉米不同生育期,土壤硝化强度的变化与土壤硝化细菌的数量变化不一致,从玉米种植前到玉米生长旺盛期,3 种土壤的硝化强度下降,然后到玉米成熟期又有所提高,其中潮土和红壤恢复到与种植前相当的水平(图 2)。研究表明,温度和降水等环境因素影响了土壤微生物数量和土壤氮的变化^[12-14],很多研究者通过室内控制试验研究了温度和水分变化对微生物活性的影响^[15-18]。虽然在玉米的 3 个生育期,气温的提高与土壤硝化细菌数量的增加变化一致,但土壤硝化强度的变化与气温不同,表现出受到温度和降水共同作用的特征。从 3 个时期的月均温看,玉米旺盛期(30.2℃) > 成熟期(29.3℃) > 种植前(19.4℃);从月降水量看,玉米种植前(335.6mm) > 成熟期(175.6mm) > 旺盛期(59.2mm)。因此随着温度的升高和降雨量的下降,土壤硝化强度表现出下降趋势。

3 讨论

3.1 土壤性质对土壤硝化过程的影响

在相同的水热因子及植被下,施肥能够促进土壤中硝化细菌生长、繁殖,数量显著增加,而且土壤硝化强度也明显加强($P < 0.05$)。对于不同的土壤,虽然土壤有机质及氮磷钾等养分是影响土壤微生物数量和活性的重要因素,但对黑土、潮土和红壤而言,硝化细菌的数量和硝化强度并没有随养分含量的增加而增加,而是表现出土壤 pH 对土壤硝化过程的控制作用,随着土壤从酸性到偏碱性(红壤 pH3.98,黑土 pH5.37,潮土 pH7.72),土壤硝化细菌数量和作用强度均增加。Dancer 的研究表明,土壤 pH 从 4.7 增高到 6.5 时,硝化速率增加 3~5 倍^[19]。李良谟^[20]等对太湖地区土壤的研究也表明,在土壤 pH5.6~8.0 的范围内,土壤硝化速率随 pH 的升高而增大,pH 低的土壤中硝化活力低的主要原因是自养硝化菌的数量很少,自养硝化菌适宜在 pH6.6~8.0 或更高的范围内生长。范晓辉对潮土和红壤研究表明,红壤的矿化和硝化作用都较潮土弱,土壤的硝化速率与 pH 呈显著正相关^[6]。本文的研究结果表明,虽然很多土壤因素都与土壤硝化细菌数量和作用强度相关(表 4),但影响土壤硝化强度的主要土壤因素包括 pH、氨态氮含量和含水量,其中决定性的因素是土壤 pH;在玉米种植期间,土壤硝化强度与土壤 pH 呈二次多项式相关关系(表 3)。本实验使用的分析方法是较为传统的实验室培养法,由于目前 90% 以上的微生物不可培养^[21],因此需要借助分子生态学方法进一步分析土壤硝化细菌种群的变化过程。

表 3 玉米不同生长期土壤硝化强度与土壤 pH 的相关性

Table 3 The relation between soil nitrification intensity and soil pH in different phases of maize growing seasons

玉米生长期 Maize growing season	处理 Treatment	相关性 Correlation * $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$			
		b0	b1	b2	R ²
种植前 Before sowing	不施肥 Unfertilization (CK)	- 151.6	52.122	- 2.564	0.952
	施肥 Fertilization (NPK)	- 29.122	8.897	0.145	0.740
旺盛期 Blooming	不施肥 Unfertilization (CK)	- 75.234	- 28.898	3.045	0.969
	施肥 Fertilization (NPK)	118.580	- 51.046	6.258	0.991
成熟期 Harvesting	不施肥 Unfertilization (CK)	100.173	- 37.939	4.361	0.965

* Y:硝化强度 Soil nitrification intensity; X: pH

3.2 水热因素对土壤硝化过程的影响

土壤微生物过程总是受温度、降雨和养分等因素的影响^[22,23],影响土壤有机质分解和氮矿化过程的环境因子主要是温度和水分^[24-26]。在中亚热带气候条件下,温度、降雨和土壤养分含量共同影响了土壤硝化过程

(表4)。从玉米生育期看,温度对土壤硝化细菌数量的影响较大,而温度与降水共同影响了土壤的硝化作用强度,随着温度的提高和降雨量的下降,土壤的硝化作用强度下降。周才平等研究表明温度影响了土壤的硝化速率,低温时净硝化速率随温度升高而有所增加,当超过一定温度时,则呈下降趋势^[27];温度和湿度对土壤的硝化过程存在较明显的交互作用,在5~25℃的温度范围内,氮的硝化速率与温度和湿度呈正相关,当温度超过25℃,含水量超过0.20kg/kg时,净硝化速率随着温度和含水量的升高反而降低。此外,有的研究者认为用最大或然计数法测定硝化细菌数量与土壤悬液培养法测定的硝化势之间并不一致^[28],这也可能是导致土壤硝化细菌数量与土壤硝化强度变化不一致的一个原因。

表4 土壤和环境因素与土壤硝化细菌和土壤硝化强度之间的相关性

Table 4 The correlation between the soil and environmental factors and the total number of soil nitrobacteria and soil nitrification intensity

影响因子 Effecting factor	硝化细菌总数 Total number of soil nitrobacteria	硝化强度 Soil nitrification intensity	影响因子 Effecting factor	硝化细菌数 Total number of soil nitrobacteria	硝化强度 Soil nitrification intensity
土壤全氮 Soil total N	0.097	-0.13	土壤有机质 Soil organic matter	0.182	-0.178
土壤全磷 Soil total P	0.361 *	0.269	土壤 pH Soil pH	0.470 **	0.778 **
土壤全钾 Soil total K	0.383 *	0.563 *	土壤速效钾 Soil available K	-0.484 **	-0.565 **
土壤氨态氮 Soil NH ₄ -N	-0.404 **	0.193	气温 Temperature	0.359 *	-0.350 *
土壤有效磷 Soil available P	-0.566 **	-0.600 **	降水 Rainfall	-0.402 **	0.433 **
鲜土含水量 Water content in fresh soil (%)	0.269	-0.580 *	风干土壤含水量 Air-dry moisture content (%)	0.202	-0.133

* 两尾测验显著性相关水平,0.05, * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed); ** 两尾测验显著性相关水平,0.01, ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

通常温度、降水、土壤、施肥等的因子都是相互联系相互制约或促进的,因此它们对硝化强度的影响也不是孤立而是共同起作用的。本文的结果表明(表5),在玉米的整个生长季土壤与施肥处理,土壤和温度等对硝化强度有着明显的交互影响作用,达到了显著甚至极显著程度。而温度与施肥处理,温度与土壤及施肥处理之间对土壤硝化强度的交互作用不显著。

表5 硝化强度影响因子的统计分析

Table 5 The statistic analysis on effection factors to nitrification intensity

分析项 Analysis item	气温 Temperature	土壤 Soil	施肥处理 fertilization	气温×土壤 Temperature × Soil	气温×处理 Temperature × Treatment	土壤×处理 Soil × Treatment	气温×土壤×处理 Temperature × Soil × Treatment
<i>F</i>	87.515	275.673	11.798	20.213	2.952	4.975	2.493
<i>P</i>	0.000	0.000	0.002	0.000	0.065	0.012	0.060

$R^2 = 0.959$

4 结论

我国东部3种主要农田土壤(黑土、潮土、红壤)在中亚热带的气候条件下,土壤的硝化过程受到水热条件、土壤性质和施肥的共同影响。在种植玉米期间,影响土壤硝化强度(Y)的主要土壤因素包括pH、氨态氮含量(N)和鲜土含水量(W),硝化强度(Y)与为因变量,其回归方程为: $Y = -41.5 + 15.2 \text{ pH} + 1.70 N - 0.917 W$ ($R^2 = 0.759$, $n = 43$)。其中土壤pH值是影响土壤中硝化过程的关键因素,相关系数为 $r = 0.778$ 。

土壤养分含量不是影响土壤硝化细菌数量的唯一因素,温度对土壤硝化细菌数量的影响较大,而温度与降水共同影响了土壤的硝化作用强度,随着温度的提高和降雨量的下降,土壤的硝化作用强度下降。施肥提

高了土壤硝化细菌数量和作用强度,特别是在较贫瘠的土壤中增幅较大,红壤中硝化细菌的增幅达 966%~1137%。

由于旱地(玉米)系统中土壤和温度、土壤与施肥之间对土壤硝化强度有明显的交互作用,因此在制定区域农田养分管理措施时应该根据气候和土壤条件制定合理的施肥措施,提高肥料氮的利用效率。对于气候、土壤和施肥的长期交互作用还需要进一步的研究。

References:

- [1] Parton W, Silver W L, Burke I C, *et al.* Global-Scale Similarities in Nitrogen Release Patterns During Long-Term Decomposition. *Science*, 2007, 315 (5810): 361—364.
- [2] Cookson W R, Osman M, Marschner P, *et al.* Controls on soil nitrogen cycling and microbial community composition across land use and incubation temperature. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39 (3): 744—756.
- [3] Dalias P, Anderson J M, Bottner P, *et al.* Temperature responses of net N mineralization and nitrification in conifer forest soils incubated under standard laboratory conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34 (5): 691—701.
- [4] Zhou C P, Ouyang H. Temperature and moisture effects on soil nitrogen mineralization in deciduous broad-leaved forest. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25 (2): 204—209.
- [5] Zhang S L, Yang X Y, Lu D Q, *et al.* Effect Of Soil Moisture, temperature and different nitrogen fertilizers on nitrification. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (1): 2147—2153.
- [6] Fan X H, Sun Y H. The characteristics of M in realization and nitrification in red soil and calcareous soil from long term fertilization experiments. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36 (5): 672—674.
- [7] Lu R K. The analysis method of Chinese Agricultural chemical. Beijing: Chinese Agricultural Scientific & Technological Press, 1999. 256—262.
- [8] Xu G H. The handbook of edaphon analysis method. Beijing: Agricultural Press, 1986. 110—240.
- [9] Davidson E A, Strand M K, Galloway L F. Evaluation of the most probable number method for enumerating denitrifying bacteria. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1985, 49: 642—645.
- [10] Ding H, Cai G X. Nitrification-denitrification Losses of Nitrogen Fertilizer and N₂O Emission From Maize-chao Soil System in North China Plain. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34 (4): 416—421.
- [11] Li H X, Hu F. The characteristics of N in mineralization and nitrification in red soil. *Soils*, 2000, 32 (4): 194—197.
- [12] Bonde A T, Schnurer J, Rosswall T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. *Soil Biol. Biochem*, 1988, 20 (4): 447—452.
- [13] Myrold D D. Relationship between microbial biomass nitrogen and a nitrogen availability index. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1987, 51: 1047—1049.
- [14] Ross D J, Cairns A. Nitrogen availability and microbial biomass in stockpiled top soils in southland. *New Zealand J Sci.*, 1981, 24: 137—143.
- [15] Wang C H, Xing X R. The effects of temperature and moisture on the soil net nitrogen mineralization in an *Aneulolepidium chinensis* grassland, Inner Mongolia, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (11): 2472—2476.
- [16] Nicolardot B, Fauvet G, Cheneby D. Carbon and nitrogen cycling through soil microbial biomass at various temperatures. *Soil Biology & Biochemistry*, 1994, 26 (2): 253—261.
- [17] Cookson W R, Cornforth I S, Rowarth J S. Winter soil temperature (2—15°C) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils: a laboratory and field study. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34 (10): 1401—1415.
- [18] Well R, Kurganova I, Gerenyu V L, *et al.* Isotopomer signatures of soil-emitted N₂O under different moisture conditions—A microcosm study with arable loess soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38 (9): 2923—2933.
- [19] Dancer W S, Peteson L A, Chesters G. Ammonification and nitrification of N as influenced by soil pH and previous n treatments. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 1973, 37: 67—69.
- [20] Li L M, Li Z G. The effect factors and nitrification of the mainly soil types in the Tai lake region. *Soils*, 1987, 19: 289—293.
- [21] Macdonald R M. Extraction of microorganisms from soil. *Biological Agriculture and Horticulture*, 1986, 3: 361—365.
- [22] Smith P, Powlson D S. Considering manure and carbon sequestration. *Science*, 2000, 287: 428—429.

- [23] Mosier A R. Soil processes and global change. *Biology Fertility Soils*, 1998, 27: 221 — 229.
- [24] Miller R D, Johnson D D. Effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification, and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1964, 28: 644 — 647.
- [25] Klavdivko E J, Keeney D R. Soil nitrogen mineralization as affected by water and temperature interactions. *Biol. Fertil. Soils*, 1987, 5: 248 — 252.
- [26] Quemada M, Cabrera M L. Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied cloverresidue. *Plant and Soil*, 1997, 189: 127 — 137.
- [27] Zhou C P, Ouyang H. Effect of temperature on nitrogen mineralization at optimum and saturated soil water content in two types of forest in Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (9): 1469 — 1473.
- [28] Wang L F, Cai Z C. Assessment of heavy metal pollution of soils in a vegetable production base in Jiangjiawan, Liuhe. *Soils*, 2004, 36 (5): 543 — 546.

参考文献:

- [4] 周才平, 欧阳华. 温度和湿度对暖温带落叶阔叶林土壤氮矿化的影响. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 204 ~ 209.
- [5] 张树兰, 杨学云, 吕殿青, 等. 温度, 水分及不同氮源对土壤硝化作用的影响. *生态学报*, 2002, 22(1): 2147 ~ 2153.
- [6] 范晓辉, 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.
- [7] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 256 ~ 262.
- [8] 许光辉. *土壤微生物分析方法手册*. 北京: 农业出版社, 1986. 110 ~ 240.
- [10] 丁洪, 蔡贵信, 王跃思, 等. 玉米-潮土系统中氮肥硝化反硝化损失与 N_2O 排放. *中国农业科学*, 2001, 34 (4): 416 ~ 421.
- [11] 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.
- [15] 王常慧, 邢雪荣, 韩兴国. 温度和湿度对我国内蒙古羊草草原土壤净氮矿化的影响. *生态学报*, 2004, 24 (11): 2472 ~ 2476.
- [20] 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: 289 ~ 293.
- [27] 周才平, 欧阳华. 长白山两种主要林型下土壤氮矿化速率与温度的关系. *生态学报*, 2001, 21 (9): 1469 ~ 1473.
- [28] 王连峰, 蔡祖聪. 水分和温度对旱地红壤硝化活力和反硝化活力的影响. *土壤*, 2004, 36 (5): 543 ~ 546.