

氮肥品种对亚热带土壤 N₂O 排放的影响*

赵 维^{1,2} 蔡祖聪^{1†}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所),南京 210008)

(2 南京工业大学环境学院,南京 210009)

摘 要 以亚热带湿热地区红壤性旱地(SU),灌丛(GB),林地(QF)为研究对象,通过在 30℃ 和 60% WHC 水分条件下,35 d 的培养试验,研究了外源铵态氮输入对土壤 N₂O 排放的影响。结果表明,对于 pH 较高的土壤 SU(pH = 6.27),施用硫酸、尿素和碳酸氢铵后,硝态氮累积量和 N₂O 排放量均高于未施氮的处理,且随施 N 量增加而增加。对于酸性土壤 GB(pH = 4.82)和 QF(pH = 4.46),施用硫酸明显地抑制硝化作用,但却极大地促进 N₂O 排放;施用尿素和碳酸氢铵对硝化作用有微弱的促进作用或无明显的影响,N₂O 的排放则略低于对照或无明显差异。酸性土壤中,加入不同类型的氮肥后,N₂O 排放量与硝态氮含量的比例与加入氮肥后测定的土壤 pH 具有显著的负相关关系。氮肥品种影响 N₂O 排放量与硝态氮产生量比例的机理值得进一步研究。

关键词 N₂O 与净硝化量比例;外源氮输入;亚热带

中图分类号 S143.1^{†2} **文献标识码** A

N₂O 是一种重要的温室气体,而且破坏臭氧层,增强地表紫外线辐射。铵态氮的土壤硝化过程是 N₂O 的重要产生途径之一。施肥和氮沉降等外源氮的输入增强农业和自然生态系统中 N₂O 排放^[1]。Matson 等^[2] 预测施肥和氮沉降等外源氮的增加将使热带地区 N₂O 的产生和排放增加。这些观点的主要依据是外源铵态氮的输入可提高土壤硝化作用的底物浓度,促进硝化作用,从而增强 N₂O 的排放。然而,热带、亚热带湿热地区的土壤多为 pH 较低的酸性土壤,酸性土壤中,外源氮的输入是否促进硝化过程目前尚有争议^[3,4],部分研究表明,pH 较低的土壤硝化速率不受添加 N 的影响^[5],但由铵态氮硝化作用产生的 N₂O 是否也不受外源氮输入的影响尚缺乏足够的实验依据。

不同品种的氮肥施入到土壤中对土壤 N₂O 的排放具有重要的影响。在通气性好、反硝化作用受到抑制的土壤中,由于强烈的硝化作用,施用铵态氮肥可能排放出较多的 N₂O;相反,在厌气、硝化作用受到抑制的土壤中,施用硝态氮肥可能排放较多的 N₂O。绝大多数土壤兼具好气和厌气条件,难以预测施用硝态氮或铵态氮后 N₂O 排放的差异。例

如,Grageda-Cabrera 等^[6] 的研究表明,施用硝酸铵处理的 N₂O 排放量最大,其次为硫酸,尿素处理的 N₂O 排放量最小。Tenuta 和 Beauchamp^[7] 在加拿大种植大麦的粉壤土上比较了颗粒肥料尿素、硝酸铵、硝酸钙、硫酸的相对 N₂O 排放量,发现施用尿素的土壤中,N₂O 排放量最大。在日本火山灰发育土壤上的试验则表明硫酸的 N₂O 排放远大于硝酸钙^[8]。氮肥对 N₂O 排放的影响可能还受其他化学成份的影响。至今,氮肥品种对亚热带酸性土壤 N₂O 排放的影响研究很少。本文选择了 3 种不同 pH 的亚热带土壤,通过实验室培养试验,研究添加不同品种的氮肥后土壤 N₂O 排放的变化。

1 材料与amp;方法

1.1 供试土壤

供试的 3 种亚热带红壤产自江西鹰潭,分别是由花岗岩发育、植被为灌丛的土壤,记为 GB;由第四纪红土发育、植被为林地土壤,记为 QF;由红砂岩发育、利用方式为耕作旱地的土壤,记为 SU。供试土壤的性质见表 1。土样采集后,风干、磨细过 2 mm

* 中国科学院创新团队国际合作伙伴计划项目(CXTD-Z2005-4)和国家自然科学基金重点项目(40830531)

† 通讯作者,E-mail: zccai@issas.ac.cn

作者简介:赵 维(1977~),女,博士研究生,主要研究方向为陆地生态系统氮循环。E-mail: wzhaoh@issas.ac.cn

收稿日期:2007-07-10;收到修改稿日期:2007-10-18

筛备用。

1.2 实验处理

称 30 g 风干土(烘干基重)分别置于一组规格为 250 ml 锥形瓶中,加入去离子水至 40% 持水量(WHC),30℃ 恒温预培养 1 周。然后,每一土壤样本分别加入尿素(N)、碳酸氢铵(C)或硫酸铵(S),加入量分别为 0(CK),N 100 mg kg⁻¹(L)和 N 250 mg kg⁻¹(H)。分别记为 LN、HN、LC、HC、LS、HS。调节土壤含水量至 60% WHC,具塞,继续在 30℃ 恒温培养 35 d,每天去塞通气约 1 h,每 3~4 d 补水一次,以补充因蒸发引起的水份损失。

培养第 1、2、3、4、7、14、21、28、35 天采集气体样品。采样前,反复抽气、通入大气使 N₂O 浓度与大气浓度平衡,并采集培养瓶上部空间气体样本,作为初始气体浓度,记录采样时间。静置 4~5 h 后,用注射器抽气 3 次,以充分均匀培养瓶上部空间 N₂O 浓度,立即采集气体 20 ml,注入 18.5 ml 的真空中,并再次记录采样时间。样品待测 N₂O 浓度。N₂O 浓度由气相色谱分析仪(Shimadzu GC-14B)测定,检测器为电子捕获检测器(ECD),氩甲烷为载气。

在培养的第 0 天(加入氮肥后)和第 7、14、21、35 天采集气体后,测定土壤中铵态氮和硝态氮含量。提取方法如下:在培养瓶中加入 75 ml 2 mol L⁻¹ KCl 溶液,25℃ 振荡 1h,过滤。滤液 4℃ 冷藏至检测。铵态氮和硝态氮由 Skalar 连续流动分析仪测定。

在无机态氮提取时,同一处理随机取 3 个培养瓶作为 3 次重复。同一处理随机另取 2 个培养瓶,测定土壤 pH(土水质量比为 1:2.5)。pH 值由数字灵敏 pH 计测定。

1.3 计算方法及数据处理

培养过程中硝态氮(NO₃⁻ + NO₂⁻-N)含量增加量称为净硝化量,记为 ΔN。N₂O 的排放通量通过两次采样测定的 N₂O 浓度增加量计算。两次排放通量测定间隔时间内的 N₂O 排放量用两次测定的平均排放通量乘以时间间隔计算。在某一培养时段的 N₂O 累积排放量则为该时段内的 N₂O 排放量。N₂O 累积排放量与净硝化量的比例为 N₂O 排放比例。

采用 ANOVA 检验各处理间 N₂O 排放差异,非线性回归求算土壤初始 pH 与各处理中 N₂O 与硝态氮的比值关系,线性回归分析净硝化量与 N₂O 排放的关系。

2 结 果

2.1 氮肥品种对净硝化量的影响

未施氮的对照处理中,第 35 天培养结束时,土壤 GB、SU 和 QF 的净硝化量分别为 104 mg kg⁻¹、30.1 mg kg⁻¹和 11.6 mg kg⁻¹,与土壤全氮含量的顺序相一致(表 1 和表 2)。从表 2 可以看出,加入氮肥显著改变了土壤 pH,且改变的方向和程度因氮肥品种而异。加入尿素和碳酸氢铵提高土壤 pH,提高的程度随加入量的增加而增加(土壤 SU 加入尿素处理例外);相反,加入硫酸铵降低土壤 pH,降低程度随加入量的增加而增加。加入氮肥对硝化作用的影响因土壤而异。对于 pH 较高的土壤 SU(pH = 6.27),加入氮肥促进了硝化作用,硝态氮的累积量随施氮水平的提高而增加,培养结束时加入的氮几乎已全部被硝化成为硝态氮,与加入氮肥后立即测定的土壤 pH 无显著相关性。对于酸性土壤 GB(pH = 4.82)和 QF(pH = 4.46),加入硫酸铵 N 250 mg kg⁻¹,均显著地抑制了硝化作用,与不加氮肥的对照(CK)相比较,净硝化量显著降低。加入硫酸铵 N 100 mg kg⁻¹显著地降低土壤 GB 的净硝化量;但提高土壤 QF 的净硝化量。加入尿素和碳酸氢铵微弱地提高土壤 GB 和 QF 的净硝化量。培养结束时土壤 GB 和 QF 的净硝化量与加入氮肥后立即测定的 pH 呈显著的对数关系,可以分别用以下回归方程拟合:

$$\Delta N = 18.44 \ln(\text{pH} - 5.47) + 116$$

$$(R^2 = 0.9702, p < 0.01)$$

$$\Delta N = 1.86 \ln(\text{pH} - 4.18) + 18.9$$

$$(R^2 = 0.7359, p < 0.05)$$

2.2 氮肥品种对土壤 N₂O 排放的影响

未加入氮肥的处理,土壤 GB 和 QF 的 N₂O 排放通量随着培养时间的延长而呈现不断升高的趋势,土壤 SU 的 N₂O 排放通量则小幅振荡,无明显的升高或降低趋势(图 1)。培养 35 d 后,累积排放量以土壤 GB 最高(N 348 μg kg⁻¹),SU 次之(N 36.9 μg kg⁻¹),QF 最低(N 16.6 μg kg⁻¹),与净硝化量的变化趋势一致(表 2)。

加入氮肥后,土壤 N₂O 排放通量变化因土壤而异。加入氮肥的土壤 GB 和 QF 在培养过程中 N₂O 排放通量随时间的变化趋势与不加氮肥的 CK 相同,随着培养时间的延长而升高,唯一例外的是加 N 250 mg kg⁻¹硫酸铵的土壤 GB,该处理的 N₂O 排放通量在 21~28 d 时出现峰值(图 1A)。加入硫酸铵与加

表 1 土样基本性质

Table 1 Parent materials, land coverage, and properties of studied soils

土壤编号 Soil code	成土母质 Parent material	植被 Vegetation	pH ¹⁾	有机碳 Organic C ¹⁾ (g kg ⁻¹)	全氮 Total N ¹⁾ (g kg ⁻¹)	黏粒 Clay ¹⁾ (v/v, %)	NH ₄ ⁺ -N ²⁾ (mg kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N ²⁾ (mg kg ⁻¹)
GB	花岗岩 Granite	灌丛 Brush	4.82	31.62	2.05	14.2	103	8.7
QF	第四纪红土 Quaternary red earth	林地 Forest	4.46	6.94	0.44	16.9	9.2	3.5
SU	第三纪红砂岩 Sandstone	旱作 Upland crop	6.27	8.41	0.85	17.0	4.1	32.3

1) 风干土(过 1mm 筛)测定 Measured of air-dried soil ground to pass a 1-mm sieve. 2) 预培养一周后测定 Measured after one-week pre-incubation

表 2 30℃和 60% WHC 水分条件下培养 35 d 后土壤 GB、QF 和 SU 的 N₂O 累积排放量、净硝化量、N₂O 占净硝化量的比例和加氮后立即测定的土壤 pHTable 2 Cumulative N₂O emission, net nitrification (ΔN), ratio of N₂O to ΔN (Ratio) in the GB, QF and SU soils at the end of 35 days of incubation at 30℃ and 60% WHC and soil pH measured immediately after N addition

土壤编号 Soil code	处理 Treatment	N ₂ O 排放量 N ₂ O emission (N, $\mu\text{g kg}^{-1}$)	净硝化量 ΔN (N, mg kg^{-1})	N ₂ O 比例 Ratio (%)	pH(H ₂ O)
GB	CK	348 c	103	3.4	5.29 d
	LC	248 d	113	2.2	5.55 b
	HC	220 de	130	1.7	6.00 a
	LN	274 d	114	2.4	5.47 c
	HN	160 e	123	1.3	5.50 bc
	LS	553 b	92.8	6.0	4.72 e
	HS	1920 a	31.2	61.7	4.48 f
QF	CK	16.6 c	11.6	1.4	4.38 d
	LC	24.2 c	17.3	1.4	4.78 b
	HC	17.4 c	18.2	1.0	5.22 a
	LN	23.2 c	18.9	1.2	4.46 c
	HN	18.1 c	20.2	0.9	4.45 c
	LS	203 a	14.2	14.3	4.28 e
	HS	150 b	6.1	24.5	4.18 f
SU	CK	36.9 e	30.1	1.2	6.44 d
	LC	53.9 cd	107	0.5	7.30 b
	HC	124 a	243	0.5	7.83 a
	LN	61.5 c	109	0.6	6.74 c
	HN	127 a	245	0.5	6.71 c
	LS	43.0 de	117	0.4	6.23 e
	HS	92.1 b	250	0.4	6.22 e

注:同一土壤同列中不同字母表示差异达到显著水平($p < 0.05$) Note: Different letters affixed to treatments of the same soils in the same column mean significant difference at $p < 0.05$

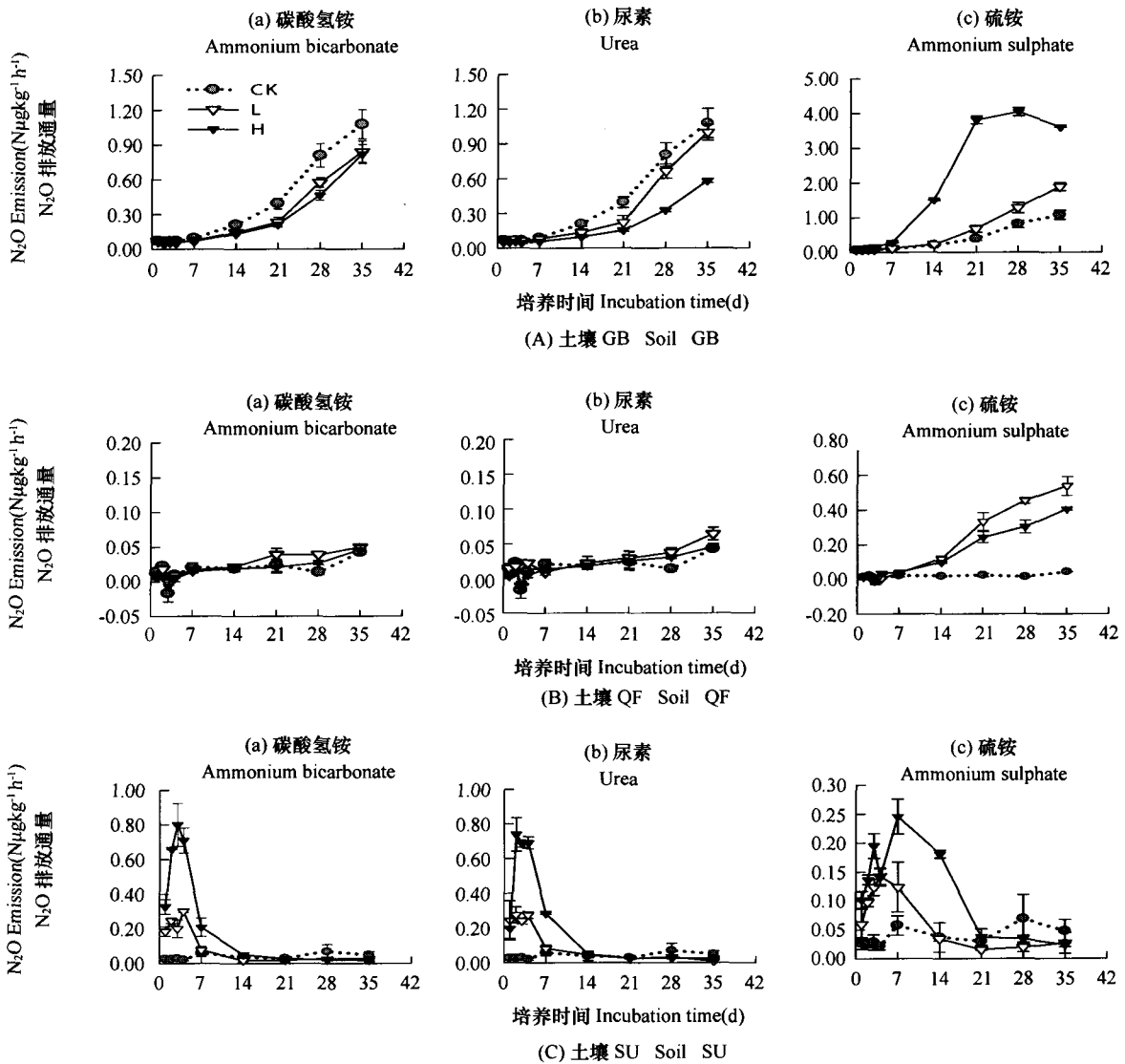


图1 土壤 GB(A)、QF(B)和 SU(C)30℃和60% WHC 水分条件下,各施氮处理35 d 培养期 N_2O 排放量-时间变化曲线。误差线为标准差($n=3$)。图例中,CK,对照;H,高氮处理, $N 250 mg kg^{-1}$;L,低氮处理, $N 100 mg kg^{-1}$

Fig. 1 Time course of N_2O flux from the NH_4^+ -added GB (A), QF (B), and SU (C) soils applied with NH_4^+ during the 35 days of incubation, 30℃ in temperature and 60% WHC in soil moisture. Vertical bars indicates standard deviation ($n=3$). In the legend, CK, control; H, high N application rate, $N 250 mg kg^{-1}$; and L, low N application rate, $N 100 mg kg^{-1}$

入尿素和碳酸氢铵处理的土壤 GB 和 QF 的 N_2O 排放通量具有极明显的差异。从图 1A 和图 1B 可以看出,加入硫酸提高了土壤 GB 和 QF 的 N_2O 排放通量,在土壤 GB 中,随硫酸加入量的增加而增加,但在土壤 QF 中,加入低量硫酸的 N_2O 排放通量大于加入高量的处理。加入尿素和碳酸氢铵对 N_2O 排放通量略有抑制(土壤 GB)或无明显作用(土壤 QF)。土壤 SU 加入氮肥后, N_2O 排放通量随培养时间的变化与土壤 GB 和 QF 完全不同,它们均具有明显的 N_2O 排放通量峰值,该峰值出现在培养后的

4~7 d 内,且随着加入氮量的增加而升高。培养后期, N_2O 排放通量降至与 CK 相同的水平(图 1C)。

培养结束时,同一土壤的 N_2O 累积排放量因氮肥品种和施用量而产生了很大的差异(表 2)。对于土壤 GB 和 QF,加入硫酸显著地增加了累积 N_2O 排放量,加入高量硫酸的 GB 土壤 N_2O 累积排放量达到 $N 1.92 mg kg^{-1}$ 。加入低量硫酸的土壤 QF, N_2O 累积排放量也达到 $N 203 \mu g kg^{-1}$,较不施用氮肥增加了一个数量级。加入尿素和碳酸氢铵的处理,土壤 GB 的 N_2O 累积排放量均降低,土壤 QF 的 N_2O

累积排放量未发生显著变化。无论是土壤 GB 和 QF, N_2O 累积排放量均有随尿素和碳酸氢铵施用量增加而下降的趋势。土壤 SU 的情况相反, 加入所有氮肥均增加 N_2O 累积排放量, 且随着加入量的增加而增加。

2.3 氮肥品种对 N_2O 排放比例的影响

将 N_2O 累积排放量与净硝化量的比例简称为 N_2O 排放比例。不加氮肥的处理, 不同培养时间段 N_2O 排放比例均随着培养时间的延长而提高 (图 2)。土壤 GB 和 QF 的 pH 随着培养时间的延长而下降, 因此, 土壤 GB 和 QF 的 N_2O 排放比例随着土壤 pH 升高而下降。但是, 土壤 SU 的 pH 却有所上升。因而, N_2O 排放比例随着 pH 的升高而升高。所以, 虽然在供试土壤中, N_2O 排放比例均与 pH 有密切关系, 但表现方式在 pH > 6.0 的土壤 SU 与 pH < 5.0 的土壤 GB 和 QF 中恰好相反。

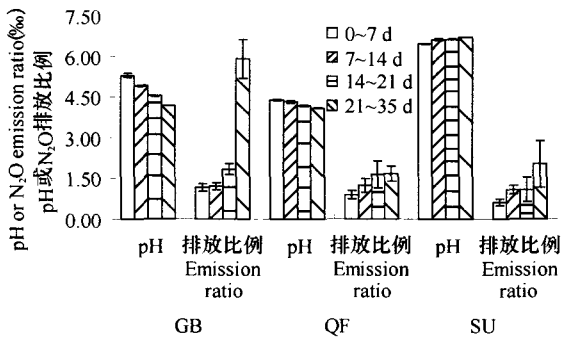


图 2 不施氮条件下土壤 GB、QF 和 SU 的 N_2O 排放比例和 pH 随培养时间的变化

Fig. 2 Variation of the ratio of N_2O emission to net nitrification and soil pH in GB, QF, and SU soils in CK with duration of incubation

氮肥对 N_2O 排放比例随培养时间而变化的影响也因氮肥品种和土壤而异。加入尿素和碳酸氢铵的各处理, N_2O 排放比例在培养过程中未发生有规律的变化 (数据未给出)。加入硫酸铵后土壤 GB 和 QF 的 N_2O 排放比例随着培养时间延长而提高 (图 3)。但只有加入低量硫酸铵的土壤 GB, 在培养过程中, pH 呈规律性的下降 (图 4), 因此, 其 N_2O 排放比例与 pH 呈显著的负相关关系 ($p < 0.05$), 其他各处理的 N_2O 排放比例与土壤 pH 变化无显著相关性。加入硫酸铵的土壤 SU, 在培养过程中土壤 pH 随培养时间延长而下降 (图 4), 但 N_2O 排放比例未发生规律性的变化 (图 3), 与土壤 pH 无显著相关性。

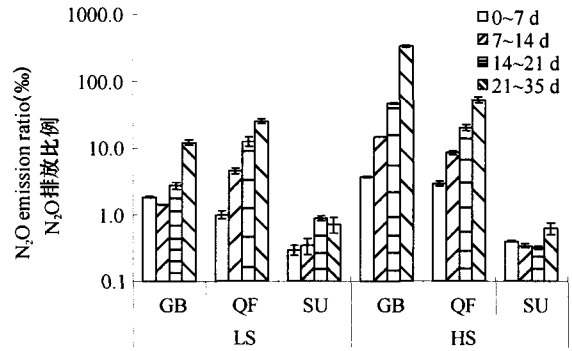


图 3 土壤 GB、QF 和 SU 施用硫酸铵后 N_2O 排放比例 (Ratio) 随培养时间的变化

Fig. 3 Variation of the ratio of N_2O emission to net nitrification in GB, QF and SU soils amended with ammonium sulfate with duration of incubation

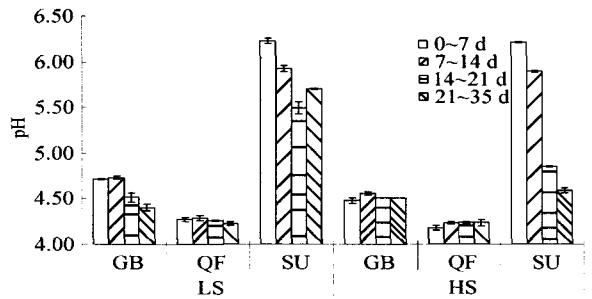


图 4 土壤 GB、QF 和 SU 施用硫酸铵后 pH 随培养时间的变化

Fig. 4 Variation of pH in GB, QF and SU soils amended with ammonium sulfate with duration of incubation

在整个培养期间, 由于加入硫酸铵减少了土壤 GB 和 QF 的净硝化量, 增加了 N_2O 排放量, 所以, N_2O 排放比例大幅度提高, 加入高量硫酸铵的 GB 土壤, N_2O 高达 61.7% (表 2)。将加入不同氮肥品种的同一种土壤作为一个整体, 土壤 GB 和 QF 在全培养期内 N_2O 排放比例与起始土壤 pH 存在显著的对数负相关关系, 分别可以由如下回归方程拟合 (y 为 N_2O 排放比例):

$$y = 2.15 - 3.54 \ln(\text{pH} - 4.48)$$

$$(R^2 = 0.999, p < 0.01)$$

$$y = -1.75 - 4.37 \ln(\text{pH} - 4.18)$$

$$(R^2 = 0.857, p < 0.01)$$

但是, 土壤 SU 无论加入何种氮肥均未提高 N_2O 排放比例 (表 2), 而且具有降低这一比例的趋势, 与土壤 pH 无关。

3 讨 论

在好气条件下,铵氧化细菌 *Nitrosomonas europaea* 氧化 NH₂OH 为 NO₂⁻,此过程中产生少量的 N₂O 副产物^[9]。Mokved 等的研究表明当土壤 pH ≥ 5 时, N₂O 产生量与硝态氮的比例较低,为 0.2‰ ~ 0.9‰;而 pH 分别为 4.1 和 4.2 的土壤, N₂O 与硝态氮的比例分别为 76‰ 和 14‰,较 pH ≥ 5 的土壤高 2 个数量级^[10]。Kesik 等也报道,当土壤 pH ≤ 4.0 时, N₂O 的排放显著增加^[11]。这些结果与本研究结果相似。本研究结果还显示,不同 pH 的土壤,外源 N 输入下, N₂O 的排放与硝化作用强弱的关系并不完全一致。因为施用石灰,用风干土测定旱作土壤 SU 的 pH 达到 6.27。加入氮肥后,硝态氮累积量和 N₂O 排放量均增加。与不加氮肥的处理比较,加入氮肥有降低 N₂O 排放比例的趋势。N₂O 排放量受氮肥施用量的影响,但氮肥品种对排放量和排放比例的影响较小(表 2)。在 pH 分别为 4.82 和 4.46 的土壤 GB 和 QF 中,加入尿素和碳酸氢铵也有降低 N₂O 排放比例的趋势。但是,加入硫酸铵后,土壤 GB 和 QF 的 N₂O 排放比例大幅度增加。加入 N 250 mg kg⁻¹ 硫酸铵后,土壤 GB 在整个培养期间的平均 N₂O 排放比例达到 61.7‰(表 2)。在培养的 21 ~ 35 d 这一段时间内,平均 N₂O 排放比例更高达 138‰(图 3)。由此可以看出,对于 pH < 5.0 的土壤 GB 和 QF, N₂O 排放量强烈地受氮肥品种的影响,硫酸铵提高了硝化作用过程中 N₂O 排放比例,因而大幅度地增加了 N₂O 排放量。

影响 N₂O 排放比例的因素很多^[12-15],但是,机理已经明确的影响因素并不很多。将加入不同氮肥品种和加入量的同一土壤作为一个总体看待,土壤 GB 和 QF 的 N₂O 排放比例与 pH 呈极显著的对数负相关关系,与对照处理培养过程中 N₂O 排放比例随着土壤 pH 的下降而提高(图 2)相一致。从这一结果看,土壤 pH 是决定亚热带酸性土壤硝化过程中 N₂O 排放比例的关键因素,不同施肥处理下 pH 的变化可能影响到羟胺氧化还原酶的活性从而影响产物中 N₂O 和 NO₂⁻ 的比例^[12]。但是,在不加氮肥的土壤 SU 中,培养过程中 N₂O 排放比例随 pH 的升高而升高(图 2);加入氮肥后,由于硝化作用释放质子,使土壤 pH 大幅度下降^[4],但 N₂O 排放比例则未发生明显变化(如图 4 和图 3)。由此可以看出,pH 对硝化作用过程中 N₂O 排放比例的影响是

极其复杂的,可能因土壤的 pH 不同而异。

加入硫酸铵处理后,在培养过程中土壤 GB 和 QF 的 pH 并不都发生了显著的变化,而 N₂O 排放比例随着培养时间延长而显著提高(图 3)。显然,硫酸铵对土壤 N₂O 排放比例的影响不仅仅是由于硫酸降低土壤 pH 这一原因,硫酸根本身可能对 N₂O 排放比例也产生了影响。但是,有关的机理尚需要进一步研究。虽然,硫酸铵影响硝化过程中 N₂O 排放比例的机理尚需要进一步研究,但是本文的研究结果表明在亚热带酸性土壤中,施用硫酸铵可能将比施用尿素或碳酸氢铵排放更多的 N₂O。在农业生产中,选择合适的氮肥品种有可能降低 N₂O 排放量。

4 结 论

pH 不同的红壤添加氮肥后其硝化作用强弱与 N₂O 排放大小并不完全一致,硫酸铵抑制了酸性红壤 GB 和 QF 的硝化作用,却极大地促进了其 N₂O 的排放。pH 对硝化作用过程中 N₂O 排放比例的影响机理可能因土壤的 pH 不同而异。

参 考 文 献

- [1] Kroeze C, Mosier A, Bouwman L. Closing the N₂O budget: A retrospective analysis. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13:1 ~ 8
- [2] Matson P A, McDowell W H, Townsend A R, *et al.* The globalization of N deposition: Ecosystem consequences in tropical environments. *Biogeochemistry*, 1999, 46: 67 ~ 83
- [3] De Boer W, Kowalchuk G A. Nitrification in acid soils: Microorganisms and mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33: 853 ~ 866
- [4] Zhao W, Cai Z C, Xu Z H. Does ammonium-based N addition influence nitrification and acidification in humid subtropical soils of China? *Plant and Soil*, 2007, 297: 213 ~ 221
- [5] Strong D T, Sale P W G, Helyar K R. Initial soil pH affects the pH at which nitrification ceases due to self-induced acidification of microbial microsites. *Austrian Journal of Soil Research*, 1997, 35:565 ~ 570
- [6] Grageda-Cabrera O A, Medina-Cázares T, Aguilar-Acuña J L, *et al.* Gaseous nitrogen loss by N₂ and N₂O emissions from different tillage systems and three nitrogen sources. *Agrociencia*, 2004, 38 (6): 625 ~ 633
- [7] Tenuta M, Beauchamp E G. Nitrous oxide production from granular nitrogen fertilizers applied to a silt loam. *Canadian Journal of Soil Science*, 2003, 83 (5): 521 ~ 532
- [8] McTaggart I P, Tsuruta H. The influence of controlled release fertilisers and the form of applied fertiliser nitrogen on nitrous oxide emissions from an andosol. *Nutrient Cycling Agroecosystem*,

- 2003, 67 (1): 47 ~ 54
- [9] Jiang Q Q, Bakken L R. Nitrous oxide production and methane oxidation by different ammonia-oxidizing bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65(6): 2 679 ~ 2 684
- [10] Møkved P T, Dörsch P, Bakken L R. The N_2O product ratio of nitrification and its dependence on long-term changes in soil pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39: 2 048 ~ 2 057
- [11] Kesik M, Blagodatsky S, Papen H, *et al.* Effect of pH, temperature and substrate on N_2O , NO and CO_2 production by *Alcaligenes faecalis* p. *Journal of Applied Microbiology*, 2006, 101: 655 ~ 667
- [12] Wood P M. Nitrification as a bacterial energy source. In: Prosser J I. ed. *Nitrification*. Oxford, United Kingdom: IRL Press, 1986. 39 ~ 62
- [13] van Cleemput O, Samater A H. Nitrite in soils: Accumulation and role in the formation of gaseous N compounds. *Fertilizer Research*, 1996, 45: 81 ~ 89
- [14] Venterea R T, Rolston D E. Mechanisms and kinetics of nitric and nitrous oxide production during nitrification in agricultural soil. *Global Change Biology*, 2000, 6: 303 ~ 316
- [15] 蔡祖聪. 尿素和 KNO_3 对水稻土无机氮转化过程和产物的影响 II. N_2O 生成过程. *土壤学报*, 2003, 40(3): 414 ~ 419. Cai Z C. Effects of urea and KNO_3 on processes and products of inorganic nitrogen transformation in paddy soils II. Processes for N_2O production (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 414 ~ 419

EFFECTS OF N FERTILIZERS ON N_2O EMISSIONS FROM SUBTROPICAL SOILS IN CHINA

Zhao Wei^{1,2} Cai Zucong^{1†}

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 College of Environmental Science, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract Effect of application of ammonium-based N (NH_4^+) on N_2O emission was investigated in typical subtropical soils in China. Soil samples, collected from upland crop field (SU), brush-land (GB) and forestland (QF), were incubated with temperature kept at 30°C and soil moisture at 60% of the water hold capacity (WHC) for 35 days after addition of ammonium sulphate, urea, and ammonium bicarbonate, separately. Each type of N fertilizer had three different application N rates 0, 100, and 250 mg kg^{-1} . Results indicate that in SU soil (pH = 6.27), both nitrification and N_2O emission were stimulated by addition of ammonium sulphate, urea and ammonium bicarbonate. Net nitrification and N_2O emission increased with the fertilizer application rate. In acid GB (pH = 4.82) and QF soils (pH = 4.46), addition of ammonium sulphate inhibited nitrification, but dramatically stimulated N_2O emission; addition of urea and ammonium bicarbonate slightly stimulated nitrification, but slightly inhibited N_2O emission or showed no effect on both. Significant negative correlation was observed between the ratio of N_2O emission to net nitrification in acid soils treated with different forms of N fertilizers and the soil pH measured immediately after addition of N fertilizer. Mechanisms of the effects of different forms of N fertilizers on ratio of N_2O emission to net nitrification need to be further investigated.

Key words The ratio of N_2O emission to net nitrification; Ammonium inputs; Subtropical regions