

施肥对热带雨林下种植砂仁土壤氮矿化和硝化作用的影响

甘建民, 孟 盈, 郑 征, 沙丽清, 冯志立

(中国科学院西双版纳热带植物园热带雨林生态系统定位研究站, 云南 勐腊 666303)

摘 要: 采用封顶埋管法 (Close – Top Incubation) 研究了施肥后西双版纳热带雨林下种植砂仁土壤的氮素净氨化、净硝化和净矿化速率。结果表明 种植砂仁的热带雨林土壤有机氮的净氨化、硝化和矿化速率明显受外来无机氮的影响, 施入铵态氮肥后, 土壤中的氨化速率明显提高 ($P < 0.01$), 由对照土壤的 $-0.66 \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30 \text{ d}^{-1})$ 增加至施肥处理土壤的 $1.65 \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30 \text{ d}^{-1})$, 但硝化速率和矿化速率却显著降低 ($P < 0.01$), 分别由对照土壤的 $6.79 \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30 \text{ d}^{-1})$ 和 $6.13 \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30 \text{ d}^{-1})$ 减少至施肥处理土壤的 $2.60 \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30 \text{ d}^{-1})$ 和 $4.25 \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30 \text{ d}^{-1})$, 导致了土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的积累。

关键词: 施肥; 雨林下种植砂仁土壤; 氮矿化; 硝化作用

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 1672 – 2043(2003)02 – 0174 – 04

Effects of Fertilization on Mineralization and Nitrification of Nitrogen in Soil Grown Amomum Under Tropical Rainforest

GAN Jian-min, MENG Ying, ZHENG Zheng, SHA Li-qing, Feng Zhi-li

(Tropical Rainforest Ecosystem Station, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Yunnan Mengla 666303, China)

Abstract: The effects of fertilization on rates of nitrogen ammonification, mineralization and nitrification were studied in the soil grown Amomum under tropical rainforest in Xishuangbanna using close – top Incubation. The results of the study showed that effects of fertilization were significant ($P < 0.01$) to rates of nitrogen magnification, mineralization and nitrification. Rate of ammonification was added significantly ($P < 0.01$) from $0.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1}$ in control soil to $1.65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1}$ in the treatment soil. But rates of nitrogen nitrification and mineralization were decreased significantly ($P < 0.01$) from $6.79 \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1})$ and $6.13 \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1})$ in control soil to $2.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1}$ and $4.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1}$ in the treatment soil respectively, leading to $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ accumulation in the soil.

Keywords: fertilization; soil of planting amomum in rainforest; nitrogen mineralization; nitrification action

土壤中有机氮的矿化和硝化速率受多种因素的影响, 干扰活动能够提高土壤的氮素转化速率, 影响氮素的矿化动态, 从而大大提高氮素从系统中流失的潜力^[1]。国外森林生态系统氮素循环方面的研究工作开展得比较早, 研究也比较广泛和深入^[2], 我国对于氮素的研究以农田生态系统为主, 对森林生态系统氮素矿化和硝化的研究近年多有报道^[3]。在云南, 沙丽

清 (2000 年) 首先报道了西双版纳热带森林不同演替阶段土壤的矿化和硝化作用^[2], 孟盈 (2001) 则对西双版纳热带季节雨林、片断热带雨林及人工橡胶林的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 动态进行了研究^[4]。

雨林下种植砂仁 (*Amomum villosum*) 对热带雨林植被群落结构和生物多样性产生的严重影响已引起了学者的广泛关注^[5], 并提出了限制砂仁在雨林核心区种植的建议^[6]。要限制砂仁种植面积必须提高砂仁单位面积产量, 土壤施肥是一个重要的途径。人为施肥干扰对热带雨林土壤氮素的矿化和硝化作用会产生什么影响是一个值得研究的问题。特别是在热带地

收稿日期: 2002 – 07 – 04

基金项目: 云南省自然科学基金项目 (1999C0090M) XERN 项目, 中国科学院西南创新基地资助

作者简介: 甘建民 (1963—), 男, 高级工程师, 主要从事热带森林生态系统土壤水分研究。E – mail: gjm@xtbg.org.cn

区,氮素的循环更受到了极大关注。

1 概况与方法

1.1 研究样地概况

本研究在西双版纳勐仑自然保护区的核心区进行,研究地点曼掌沟(21°56'N, 101°16'E)距中国科学院西双版纳热带植物园约 8 km。据植物园生态站多年气象资料,该地区年平均气温为 21.4℃,年均降雨量为 1 557 mm,其中雨季(5~11月)为 1 355 mm,占全年的 87%,旱季(11~4月)为 202 mm,仅占全年降雨量的 13%,相对湿度为 87%。土壤为白垩系砂岩发育而成的砖红壤。植被虽因种植砂仁而被疏伐,但仍保留热带湿性季节雨林特征,主要优势种为干果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)和绒毛番龙眼(*Pometia tomentosa*),植被盖度为 60%,高度约 20~25 m。

1.2 材料及方法

实验开始前准备好大量的长 15 cm,内径 6 cm 的 PVC 管。在条件基本一致,面积为 2 500 m² 的相邻两块样地上,设立相距 10 m,长为 20 m 的三条平行样线,每条样线上相距 4 m 确定一个土壤观测取样点,于 2000 年 4 月 7 日施肥前用 PVC 管在每个取样点上对表层 0~15 cm 土壤取样,用以分析施肥前土壤 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的初始水平。随后在确定的处理样地内,根据当地农民的施肥量,施入硫酸型 N、P、K 复合肥 25 kg·hm⁻² (含 (NH₄)₂SO₄ 3.75 kg·hm⁻²),经过 3 个月时间于 2000 年 7 月 7 日在对照和处理样地已确定的观测取样点上,采用顶盖埋盖法(Close-Top Incubation)^[7],对处理 and 对照土壤用 PVC 管进行

1 个月的培养,并分别测定培养前后二块样地土壤 NH₄⁺-N (mol·L⁻¹ 氯化钾浸提-靛酚兰比色法)和 NO₃⁻-N 含量 (mol·L⁻¹ 氯化钠浸提-锌粒镀铜还原紫外分光光度法)。根据结果之差估测土壤氮净矿化速率、氨化速率及硝化速率。相关的计算公式为^[8]:

土壤氮净矿化速率 (mgN·kg⁻¹·30 d⁻¹) = (土壤培养 30 d 后的 NH₄⁺-N + NO₃⁻-N) - (土壤初始的 NH₄⁺-N + NO₃⁻-N);

净氨化速率 (mgN·kg⁻¹·30 d⁻¹) = (土壤培养 30 d 后的 NH₄⁺-N) - (土壤初始的 NH₄⁺-N);

净硝化速率 (mgN·kg⁻¹·30 d⁻¹) = (土壤培养 30 d 后的 NO₃⁻-N) - (土壤初始的 NO₃⁻-N)

2 结果与讨论

2.1 供试土壤基本性状

砖红壤为热带北缘地带性土壤,是西双版纳热带土壤的主要类型,其形成发育的两个主要特点为生物循环过程和富铝化过程。生物循环终年不止,风化作用和富铝化作用强烈,土壤剖面呈现红棕色及黄色,土层较深,达 1.2 m~1.5 m 左右,土壤粘重,结构面有胶膜,呈强酸性反应, pH < 6.0。施入铵态氮肥前土壤基本性状见表 1。可以看出,雨林土壤以 NH₄⁺-N 为主, NO₃⁻-N 只占 NH₄⁺-N 的 36.23%。这是由于 NH₄⁺-N 带正电荷易被带负电荷的土壤粘土矿物及有机胶体吸附,不易从土壤中淋失,而带负电荷的 NO₃⁻-N 则易从系统中淋失,因此森林土壤的 NH₄⁺-N 浓度通常高于 NO₃⁻-N 浓度,这也是森林生态系统保持氮不易淋失的一种机制。

表 1 供试土壤(0~15 cm)理化性状(Mean ± SE)

Table 1 Physical and chemical properties of the soil studied (0~15 cm) (mean ± sd)

土壤属性	质地	容重 /g·cm ⁻³	pH	有机质 /mg·kg ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N /mg·kg ⁻¹
砖红壤	壤土	1.31 × 10 ⁶ ± 0.13	5.35 ± 0.33	34.2 ± 1.34	3.34 ± 0.22	1.21 ± 0.32

2.2 施肥对土壤 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的影响

土壤施入铵态氮复合肥后,经过 3 个月的时间,土壤及微生物对 NH₄⁺-N 的固定、吸收及转化后仍表现出较高的水平。由表 2 培养前的 NH₄⁺-N 含量可以看出,处理的 NH₄⁺-N (0.35 mg·kg⁻¹) 较对照 (0.18 mg·kg⁻¹) 提高了 7.8%,对照和处理呈显著差异 (P < 0.01)。施入铵态氮肥能增加土壤的 NH₄⁺-N 水平显然是在预料之中,因为土壤微生物常明显表现出对 NH₄⁺-N 的偏爱,且增加的 NH₄⁺-N 较 NO₃⁻-N 易于被微生物固持^[9],提高了土壤净氨化作用和阴性胶体

对 NH₄⁺ 的吸附保存。预料之外的是施入铵态复合肥后,处理的 NO₃⁻-N 含量 (0.26 mg·kg⁻¹) 与对照 (0.34 mg·kg⁻¹) 相比却下降了 23.53% (表 3),这一结果反映了土壤中 NH₄⁺-N 的增加,促进了土壤有机氮转化,即氨化作用受到“催化”,使土壤中 NH₄⁺-N 增加,而增加的 NH₄⁺-N 又给硝化作用提供了更多的氮源,导致可能增加了氨挥发及 NO₂⁻ 和 NO₃⁻ 的淋失,以及可能增加了氨的挥发,从而使土壤中 NO₃⁻-N 含量减少,施肥导致硝化作用降低。

2.3 施肥对土壤氨化、硝化和矿化速率的影响

一般认为, 土壤及凋落中 N 的可利用性会限制微生物的活动, 特别是在高 C/N 比的情况下。当有外来 N 源可供利用的时候会促进微生物的活动, 提高 N 的矿化速率。由表 2 和表 3、图 1 可以看出, 施入铵态氮肥后, 土壤的氨化、硝化及矿化速率均产生了较大的变化。

表 2 雨林下种植砂仁施肥及对照土壤的净氨化速率

($n = 15$, mean $\pm$ SE)

Table 2 Net ammonification rate of fertilize the soil and non fertilize the soil in planting amomum under rainforest ($n = 15$, mean $\pm$ SE)

土壤	培养前 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	培养后 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	平均净氨化速率 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1}$
对照	(2.18 $\pm$ 0.15) ^a	(1.52 $\pm$ 0.34) ^a	(-0.66 $\pm$ 0.28) ^a
处理	(2.35 $\pm$ 0.26) ^b	(4.00 $\pm$ 0.54) ^b	(1.65 $\pm$ 0.54) ^b

注: 数值上所标注的不同字母表示差异显著 ($P < 0.01$)。

表 3 雨林下种植砂仁施肥及对照土壤的净硝化速率

($n = 15$, mean $\pm$ SE)

Table 3 Net nitrification rate of fertilize the soil and non fertilize the soil in planting amomum under rainforest ($n = 15$, mean $\pm$ SE)

土壤	培养前 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	培养后 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	平均净硝化速率 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1}$
对照	(0.34 $\pm$ 0.06) ^a	(7.13 $\pm$ 1.68) ^a	(6.79 $\pm$ 1.72) ^a
处理	(0.26 $\pm$ 0.03) ^b	(2.86 $\pm$ 0.76) ^b	(2.60 $\pm$ 0.71) ^b

注: 数值上所标注的不同字母表示差异显著 ($P < 0.01$)。

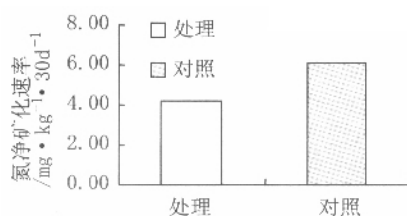


图 1 雨林下种植砂仁施肥及对照土壤的氮净矿化速率

Figure 1 Net mineralization rate of fertilize the soil and non fertilize the soil in planting Amomum under rainforest

首先, 施肥使土壤净氨化速率成倍提高, 由负值变为正值。土壤的净氨化速率由对照的 $-0.66 (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1})$ 增加至处理的 $1.65 (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1})$, 提高了 3.5 倍, 且呈显著差异 ($P < 0.01$)。沙丽清 (2000 年) [12] 在同一地区的研究中也发现雨林地土壤净氨化速率为负值这一现象。而施入铵态氮肥后, 净氨化速率的提高意味着外源无机氮促进了土壤中 NH_4^+ 的累积增加, 而这种增加是由于硝化作用降低 (表 3) 引起的。

其二, 施肥使土壤净硝化速率显著降低。对照的净硝化速率为 $6.79 (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1})$, 而处理则降

低至 $2.60 (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1})$, 减少了 61.71%, 二者呈显著差异 ($P < 0.01$)。土壤净硝化速率的降低可能是由于土壤微生物对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 固持的增加或 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋失 [10], 土壤铵态氮的供应水平明显的影响了硝化速率, 而 Pastor [11] 和 Montagnini [12] 也报道了类似的结果, 莫江明 [13] 在对鼎湖山马尾松人工林土壤的研究中也发现土壤硝态氮水平与铵态氮水平具有显著的正直线相关关系, 以上结果进一步证明了铵态氮供应是调节硝化速率的一个重要因素, 而且可以认为西双版纳热带雨林土壤净氨化速率为负值是由于热带土壤具有较高净硝化速率而导致, 这与该地区高温高湿有很大关系。

其三, 施肥减弱了土壤的氮净矿化速率。由净矿化速率的公式可以看出, 净矿化速率等于土壤培养后与培养前净氨化速率和净硝化速率之和的差值, 与对照土壤的净矿化速率相比较, 施肥后土壤净氨化速率的增加量, 并不能抵消净硝化速率的减少量。施肥后处理土壤的净矿化速率仍表现出降低的趋势, 由对照的 $6.13 (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1})$ 减少至处理的 $4.25 (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 30\text{d}^{-1})$, 降低了 30.67% 并呈显著差异 ($P < 0.01$)。

土壤中有机 N 的矿化和硝化速率直接或间接地受多种因素影响, 例如温度, 水分, 分解基质的 C/N, 矿化或者硝化过程本身是否有抑制物质存在, 以及参与分解的有机物质量等 [11], 有很多研究表明, N 的矿化和硝化速率与枯枝落叶的生产量及其 N 和 P 的含量成正相关, 而与 C/N 和 C/P 成负相关 [11], 本试验过程中使用的肥料为硫酸型 N、P、K 复合肥, 外来的 N、P 源无疑对土壤的矿化和硝化速率产生了重要影响。农业土壤研究中常将施肥后导致土壤氮素矿化量的增加称之为“激发效应”, 此过程中氮素转换作用是一个重要的机制, 即化肥无机氮促进了土壤有机氮的矿化, 有机氮又促进了化肥无机氮的生物固持, 其实质是一种生物交换或替代作用。当土壤中的 NH_4^+ 容易获得时, 有机 N 的矿化速率就增高 [8], 但该试验却表明, 施用外来 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 源时, 热带森林土壤原有高的矿化和硝化速率被降低了, 只是净氨化或 NH_4^+ 累积有所增加。而施肥导致土壤氮素矿化量增加的“激发效应”实际上只是增加了 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的含量, 却引起硝化产物从水中的丢失量增加。

普遍认为氮肥的形态对氮素的气态损失量有很大影响, 硝酸盐肥料的氮素损失较铵盐肥料的损失量大。施用氮肥或者进行放牧, 可以使 NH_3 的挥发达到

最高。近年来的研究表明,氨挥发和硝化-反硝化作用是氮素损失的主要途径,施入土壤中的氨态氮肥由于硝化微生物的作用转化为不易被土壤吸收的阴离子 NO_2^- 和 NO_3^- ,造成氮素的淋失。由于化肥的普遍使用已从农业波及到林业,人为活动造成氮的富集而影响到整个生态系统,一个最直接的后果就是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋失及 NH_3 的挥发。

从西双版纳热带雨林土壤中净氨化速率为负值和净硝化速率较高这一现象,到施入铵态氮后土壤净氨化速率成倍增加至正值,以及净硝化速率快速降低,表明热带地区土壤的净氨化速率和净硝化速率明显受控于土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的含量,净氨化速率可能与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的含量成正相关,而净硝化速率则与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的含量成负相关,但这仍然需要进一步的研究。从本文施肥导致净矿化速率降低这一事实来看,施肥实际上是使有机氮的氨化作用降低了,并且由于硝化作用的大幅度降低,导致了 NH_4^+ 的相对累积,即净氨化作用增加。

参考文献:

- [1] 韩兴国,李凌浩,黄建辉. 生物地球化学概论[M]. 北京:高等教育出版社,1999. 187-231.
- [2] 沙丽清,孟 盈,冯志立,等. 西双版纳不同热带森林土壤氮矿化和硝化作用研究[J]. 植物生态学报,2000,24(2): 152-156.
- [3] 莫江明,孔国辉. 凋落物和林下层收割对鼎湖山马尾松林土壤有效氮动态的影响[J]. 生态学报,1997,17(1): 109-112.
- [4] 孟 盈,薛敬意,沙丽清,唐建维. 西双版纳不同热带森林下土壤铵态氮和硝态氮动态研究[J]. 植物生态学报,2001,25(1): 99-104.
- [5] Zou S Q. Cultivation of amomum villosum under tropical rainforest[J]. *Forestry Management and Ecology*, 1993, 60: 157-162.
- [6] 王宝荣,苏文华,闫海忠. 西双版纳勐养自然包护区种植砂仁对重点保护植物的影响及对策[J]. 应用生态学报,1997,8(增刊): 75-81.
- [7] Binkley D & S Hart C. The components of nitrogen availability assessments in forest soils[J]. *Advances in Soil Sciences*, 1989, 10: 55-112.
- [8] Robertson G P & P Vitousek M. Nitrification potentials in primary and secondary succession[J]. *Ecology*, 1981, 62: 376-386.
- [9] Vitousek P M & S Andariese W. Microbial transformations of labelled nitrogen in a clear-cut Pine Plantation[J]. *Oecologia*, 1986, 68: 601-605.
- [10] Kaye J P & S Hart C. Ecological restoration alters nitrogen transformations in a Ponderosa Pine bunchgrass ecosystem[J]. *Ecological Application*, 1998, 8(4): 1389-1395.
- [11] Pastor J J, Aber D & Mcclaugherty C A. Aboveground Production and N and P cycling along a nitrogen mineralization gradient on Blackhawk, Wisconsin[J]. *Ecology*, 1984, 65(1): 256-268.
- [12] Montagnini F & Buschbacher R. Nitrification rates in two undisturbed tropical rain forests and three slash-and-burn sites of the Venezuelan Amazon[J]. *Biotropica*, 1989, 21(1): 9-14.