

# 模拟氮沉降对木荷人工幼林地土壤氮素、碳素和微生物量垂直分布的影响

蔡玉婷<sup>1</sup>, 黄永芳<sup>1</sup>, 张太平<sup>1\*</sup>, 肖辉林<sup>2</sup>, 李跃林<sup>3</sup>

1. 华南理工大学环境与能源学院, 广东 广州 510006; 2. 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650;

3. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650

**摘要:** 以  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  作为氮源, 对广州东北郊木荷 (*Schima superba*) 人工幼林地进行模拟氮沉降处理, 共设置 3 个氮沉降水平, 分别为 N0 (N:  $0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )、N5 (N:  $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ) 以及 N10 (N:  $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ), 每月进行喷施。在连续施氮 22 个月 (当月当次施氮 5 天后) 对土壤氮素 (硝氮、氨氮、总氮)、碳素 (总碳) 以及微生物量 (脂磷) 在 0~60 cm 土层中的垂直分布进行研究。结果显示: 在 3 个氮沉降水平下, 随着土层加深, pH 呈现出下降的趋势, 氮沉降存在加剧土壤酸化的风险; 在 N0、N5、N10 水平下, 土壤全氮和总碳的垂直分布趋势大体一致, 随着土层加深, 其含量下降, 但在深层土壤 (40~60 cm) 中, 施氮与对照比较, 总碳呈现一定的增加趋势; 除 40~50 cm 土层, N5、N10 水平下的硝态氮含量在各个深度土壤中都表现为比对照组要高, 氮沉降导致土壤一定程度上硝态氮的积累; 在浅层土壤 (0~20 cm) 中, 铵态氮水平较低并且其含量明显低于对照组, 而在较深的土层中铵态氮有较多的积累, 说明存在污染地下水的风险; N5 和 N10 水平下, 无机氮比例 (无机氮含量与总氮含量之比) 在各个深度土壤中总体高于 N0 水平; 用脂磷含量表征土壤微生物含量, 结果表明外加氮源对微生物含量有显著性影响, 在 N5、N10 水平下, 微生物含量在 30~40 cm 土层中出现峰值。

**关键词:** 氮沉降; 木荷; 人工幼林; 土壤氮素; 土壤碳素; 土壤微生物量; 垂直分布

**中图分类号:** Q948

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2013) 05-0755-06

**引用格式:** 蔡玉婷, 黄永芳, 张太平, 肖辉林, 李跃林. 模拟氮沉降对木荷人工幼林地土壤氮素、碳素和微生物量垂直分布的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 755-760.

CAI Yuting, HUANG Yongfang, ZHANG Taiping, XIAO Huilin, LI Yuelin. Effects of simulated nitrogen deposition on the vertical distribution of soil nitrogen, carbon and microbial biomass in young *Schima superba* plantation [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(5): 755-760.

大气氮沉降 (nitrogen deposition) 是指含氮化合物从大气中移除并降落到地表的过程, 是氮素循环的重要环节。三重键组合的氮气 ( $\text{N}_2$ ) 是氮素的主要形式<sup>[1]</sup>。但由于城市化进程, 土地开发利用, 点源 (如污水、工业排放) 和面源 (如农业) 的氮输入都大大增加, 使得氮素以化合物形式出现的比例增加, 氮沉降负荷也随之增加。

大气氮沉降增加已经成为威胁人类生存和经济发展的全球问题。有学者甚至以“公敌” (public enemy) 来形容氮沉降增加的负面影响<sup>[2]</sup>。2001 年发表的统计资料显示, 人类活动产生的活性氮 (Reactive Nitrogen, Nr) 为  $160 \text{ Tg}\cdot\text{a}^{-1}$  (以 N 计), 是 1860 年的 15 倍。亚洲地区的排放总量最高, 但欧美的人均排放量高于亚洲<sup>[3]</sup>。由于人口和经济的快速增长, 中国活性氮的产量很高。中国黄淮海平

原地区监测所得氮沉降量为  $40.32 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (以 N 计), 其中干沉降占 62.45%, 氨氮为主要的氮素形式, 分别占干沉降和湿沉降的 66.00% 和 62.68%, 无论是干沉降还是湿沉降, 有机氮比硝态氮所占的比例要高<sup>[4]</sup>。在华南地区也监测出较高的氮沉降量, 湿沉降约为  $23.85 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ <sup>[5]</sup>。

Nr 增加是当前全球变化的重要表现之一, 并已对大气、水体、森林和土壤等多种生态系统产生严重的影响<sup>[6]</sup>。研究指出: 氮沉降对森林生态系统的影响是多方面的, 在缺氮地区表现为一定程度的氮沉降增加可满足森林生长需求, 表现出积极响应, 而在富氮地区, 氮沉降的增加可使得森林营养失调<sup>[7]</sup>。如果森林所在地有较高的大气氮沉降, 则森林对过量的氮沉降在生态和结构上一般表现出更加复杂的变化<sup>[8]</sup>。因此, 氮沉降增加与森林生态系统

**基金项目:** 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-GJ01); 国家自然科学基金项目 (31070473; 31270575)

**作者简介:** 蔡玉婷 (1987 年生), 女, 硕士, 研究方向为生态工程与环境修复。E-mail: rainy-cai@163.com

\*通信作者: 张太平。E-mail: lckzhang@scut.edu.cn

**收稿日期:** 2013-05-02

的响应关系,是近些年的研究热点,这些热点包括氮沉降与森林土壤呼吸<sup>[9-11]</sup>,氮沉降与森林土壤氮矿化<sup>[12]</sup>,氮沉降与土壤溶解性有机碳(dissolved organic carbon, DOC)<sup>[13]</sup>,氮沉降与森林生态系统凋落物分解<sup>[14]</sup>以及氮沉降与人工幼苗养分平衡等<sup>[15]</sup>。

作为全球3大氮沉降集中区(欧洲、美国和中国)之一,中国近年的氮沉降增长速率已经高于欧美地区<sup>[16]</sup>。在这种情况下,开展氮沉降相关研究显得尤为重要。对不同氮沉降水平下土壤氮素、碳素以及土壤微生物量的垂直分布进行研究,有助于阐明氮沉降增加的生态影响,为大气氮污染的防治提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 模拟实验概况

氮沉降模拟实验由广东省生态环境与土壤研究所肖辉林课题组布置,样地设在广州市增城朱村街凤岗村,地处东经113°17',北纬23°39',温热多雨,降水季节性分布明显,初夏多雨,秋冬少雨。2012年全年平均气温21.9℃,平均气温最低位11.8℃(12月),平均最高气温28.3℃(7月),全年降水2093.3mm,其中10月最少,6月最多(据2012年增城市气候公报)。

试验样地如图1所示,在木荷(*Schima superba*)人工幼林设置3个氮沉降处理,分别为N0(N: 0 g·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>)、N5(N: 5 g·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>)以及N10(N: 10 g·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>),每个处理设置3个重复,每个小区面积为15m×15m,内部分别种有25株苗龄为2年的木荷(*Schima superba*)幼苗,小区之间以田埂和排水

沟分隔。2011年4月,样地开始运行。用分析纯NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>作为氮源,按历年(1960—2010年)各月平均降雨量占历年平均降雨量的比例分配每月的氮源。每月再根据当月分配得到的氮源量分为1~4次喷施。每次喷施时,将NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>溶于2.00L的蒸馏水中,使用背式喷雾器在小区中均匀喷洒,N0处理组则喷洒等量的蒸馏水。

2011年3月25日,在实验样地建立之前,采集3份0~20cm表层土壤进行分析,每份土样均为5点混合土样。混合均匀后,剔除杂质,自然风干,研磨过筛,储于玻璃瓶中备用。

实验样地的土壤养分背景值分析结果如下:pH为6.93±0.11,有机碳质量分数为(7.27±0.74)g·kg<sup>-1</sup>,全氮质量分数为(0.70±0.11)g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮质量分数为(89.02±16.92)mg·kg<sup>-1</sup>,全磷质量分数为(1.02±0.09)g·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 样品采集方法

本研究样品采集于2013年1月22日,即第22个月当次施氮后第5天,在每块样地分别采集0~10、10~20、20~30、30~40、40~50cm、50~60cm等6份土样。剔除杂质,混合均匀后,装于聚乙烯袋,带回实验室。将采集回来的土样一部分过2mm筛,于4℃中保存备用,一部分铺平自然风干,然后使用球磨机研磨,过筛,用聚乙烯袋分装,密封保存备用。其中含水率、硝态氮、铵态氮以及脂磷用鲜样品测定。

### 1.3 样品分析方法

土壤自然含水率采用烘干法进行测定,用电位法测定土壤pH,土壤铵态氮和硝态氮则分别使用KCl浸提-靛酚蓝比色法、酚二磺酸比色法测定,以上分析方法均参考全国农业技术推广服务中心编写的《土壤分析技术规范》(第2版)<sup>[17]</sup>。土壤脂磷的测定改良后操作如下:称取约25g鲜土置于100mL广口干洁三角瓶中,加入若干5~6mm玻璃珠,加氯仿10mL,甲醇20mL,水8mL,用硅胶塞塞紧,在振荡器上震荡10min,静置12h,再次加入氯仿10mL,水10mL,静置12h,用滴管移除部分上层溶液之后,将三角瓶中的土和溶液转移到50mL离心管中,在4000r·min<sup>-1</sup>转速下离心1min,用注射器抽取含脂类物质的下层氯仿相,经0.45μm有机相滤头,转移到干洁试管中,吸取5mL转移到50mL比色管中,水浴蒸干,然后借鉴于鑫<sup>[18]</sup>、魏谷<sup>[19]</sup>等的文献进行分析测定。土壤总碳和全氮使用德国elementar Vario EL cube通用型CHNS和O元素的全自动分析仪进行测定。

### 1.4 数据分析与处理

使用SPSS 19.0对数据进行单因素方差分

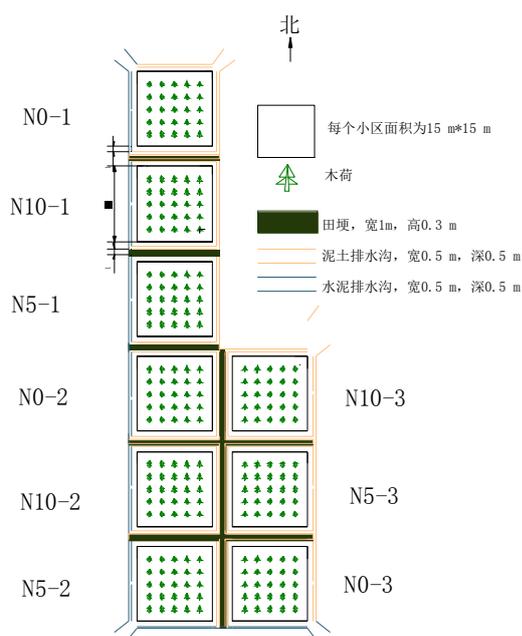


图1 试验样地平面图

Fig 1 Plan of experiment station

析、多因素方差分析以及多重比较,用 Origin 8.0 绘图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤 pH 值、含水率垂直分布状况

pH 值和含水率在不同深度土层的分布,如表 1 所示。

表 1 土壤 pH 值和含水率垂直分布  
Table 1 Vertical distribution of soil pH and moisture content

氮沉降水平	土层深度/cm	pH	含水率/%
N0	0~10	7.01±0.06	12.13±1.30
	10~20	6.99±0.04	12.30±1.45
	20~30	6.67±0.07	13.29±2.62
	30~40	6.54±0.14	14.86±2.15
	40~50	6.44±0.07	15.83±1.58
	50~60	5.93±0.04	16.48±0.83
N5	0~10	6.97±0.10	11.05±2.36
	10~20	6.93±0.09	10.71±1.99
	20~30	6.65±0.16	10.65±1.18
	30~40	6.07±0.50	14.08±4.12
	40~50	5.60±0.31	14.34±6.03
	50~60	5.84±0.20	16.00±3.64
N10	0~10	6.81±0.10	11.23±0.14
	10~20	6.89±0.14	10.88±0.84
	20~30	6.48±0.12	12.26±2.00
	30~40	6.04±0.47	13.67±2.96
	40~50	5.82±0.42	16.03±2.56
	50~60	5.72±0.29	20.66±4.68

N0、N5、N10 三个氮沉降水平下,土壤 pH 的变化趋势均为随着土层加深,pH 下降。同一深度,N5 和 N10 的 pH 均低于对照组,氮沉降增加使林地土壤酸化加剧。人工幼林与成熟森林相比,对氮的吸收速率更大,在同等的氮输入水平下,氮素淋失相对小一些<sup>[20]</sup>。土壤 pH 对外加氮源的响应,与氮源种类有关,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的酸化效应强于当量 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N<sup>[21]</sup>。

3 个氮沉降水平下,土壤含水率的趋势基本一致,随着土层加深,含水率增加,但不同氮沉降水平之间的差异不显著 ( $P>0.05$ )。

### 2.2 氮沉降对土壤氮素、碳素垂直分布的影响

在 0~60 cm 之间的 6 层剖面中,其氮素分布如图 2—5 所示。

全氮在 3 个氮沉降水平中,其垂直分布趋势大体一致,随着土层加深,全氮含量降低。在同一深度的土层中,外加氮源并未引起总氮含量的显著升高(图 2)。N0、N5、N10 全氮的最高值均出现在 0~10 cm 土层,分别为(0.93±0.06)、(0.93±0.15)、(0.97±0.12) g·kg<sup>-1</sup>,最低值出现在 50~60 cm 土层,分别为(0.50±0.10)、(0.43±0.06)、(0.53±0.12) g·kg<sup>-1</sup>。

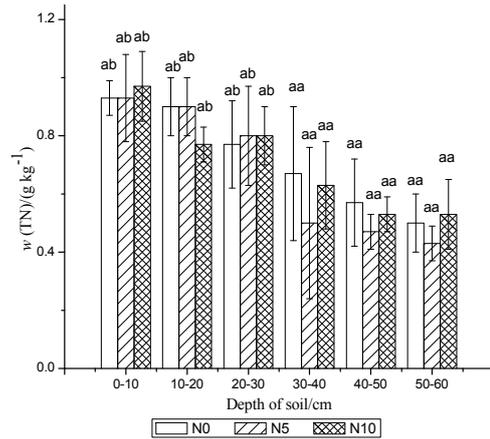


图 2 氮沉降对土壤总氮垂直分布的影响  
Fig. 2 Effects of nitrogen deposition on vertical distribution of soil TN

氮素流失的原因有很多,包括降雨、氨挥发、N<sub>2</sub>O 排放等,施肥也是导致氮素流失的因素<sup>[22]</sup>。施用肥料后一段时间内,铵态氮和硝态氮的含量会显著升高,然后急剧下降,升高幅度和维持高浓度水平时间的长短,因施肥量、施用时间以及植物种类而不同<sup>[23]</sup>。硝态氮不存在专性吸附特性,在 pH 较低的时候,其扩散系数比 Cl<sup>-</sup>还要大,于是便造就了 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>随水迁移的特性,可以迁移到更深的土层,也可以通过植物根系,由剖面深处迁移至根区,被植物吸收利用。

模拟氮沉降增加明显导致土壤硝态氮质量分数升高(图 3),N5、N10 的峰值均出现在 10~20 cm 土层,N0、N5、N10 硝态氮最高值分别为(1.88±0.74)、(2.35±0.76)、(2.98±0.34) mg·kg<sup>-1</sup>,最低值分别为(0.41±0.05)、(0.50±0.08)、(0.87±0.30) mg·kg<sup>-1</sup>。除 0~10、40~50 cm 土层差异不显著外,N5、N10 其余 4 层的硝态氮含量均明显高于对照组。

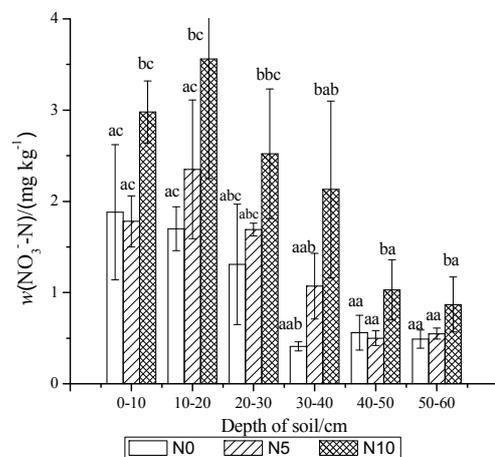


图 3 氮沉降对土壤硝态氮垂直分布的影响  
Fig. 3 Effects of nitrogen deposition on vertical distribution of soil nitrate nitrogen

N5、N10的铵态氮在0~10和10~20 cm两个土层没有明显的积累(图4),均比对照组低 $0.77\pm 0.06$ 、 $0.49\pm 0.28$ ,在20~30、30~40、50~60 cm等3个土层中,N5、N10的铵态氮含量均高于对照组 $0.19\pm 0.21$ 、 $0.54\pm 0.18$ 、 $0.81\pm 0.06$ ,3组的峰值均出现在50~60 cm土壤中,分别为N0: $0.81\pm 0.06$ 、N5: $0.89\pm 0.10$ 、N10: $1.08\pm 0.20$ 。

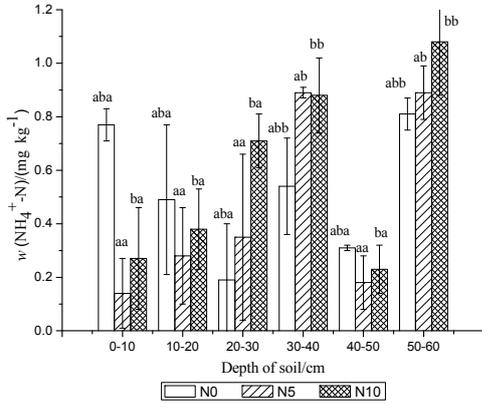


图4 氮沉降对土壤铵态氮垂直分布的影响

Fig. 4 Effects of nitrogen deposition on vertical distribution of soil ammonia nitrogen

本试验选用 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 提供氮素,铵态氮和硝态氮都是植物最容易吸收的氮素形式,也是无机氮的主要存在形式。考虑到 $\text{NO}_2^-$ -N和 $\text{N}_2\text{O}$ 等在土壤中的含量很低,本研究用铵态氮和硝态氮的总量表征无机氮含量。除了表层0~10 cm,其余土层N5、N10的无机氮比例(无机氮含量与总氮含量之比)都要高于对照组,这些无机氮除了源于外加氮源 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 的迁移下渗之外,还源于土壤氮素的矿化过程,如图5所示,在不施氮的情况下,50~60 cm土壤的无机氮比例为 $(0.26\pm 0.02)\%$ ,在6个土层中,仅次于表层0~10 cm,由此可以推断,

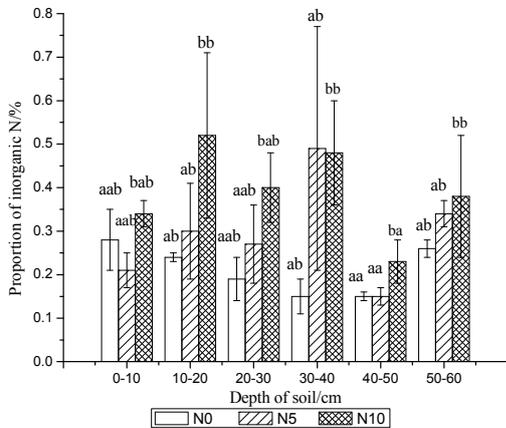


图5 氮沉降对土壤无机氮比例垂直分布的影响

Fig. 5 Effects of nitrogen deposition on vertical distribution of proportion of inorganic nitrogen

表层有机氮矿化并向下迁移,是深层土壤无机氮积累的重要途径。

土壤总碳的垂直分布趋势,与全氮相似,随着土层加深,总碳含量减少(图6)。除N10外,N0和N5处理的总碳含量与全氮含量的比值,也有随着土层加深而减少的趋势(图7)。图8显示,无论是否添加氮源,总碳和全氮具有良好的线性关系

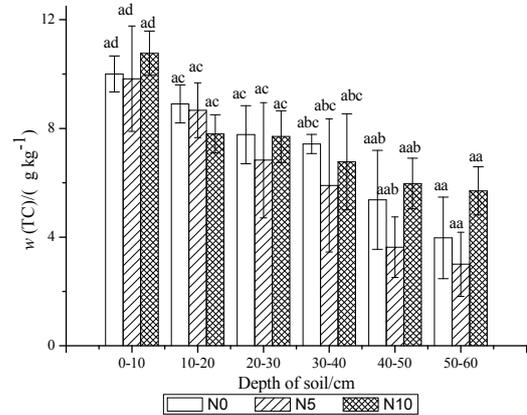


图6 氮沉降对土壤总碳垂直分布的影响

Fig. 6 Effects of nitrogen deposition on vertical distribution of total carbon

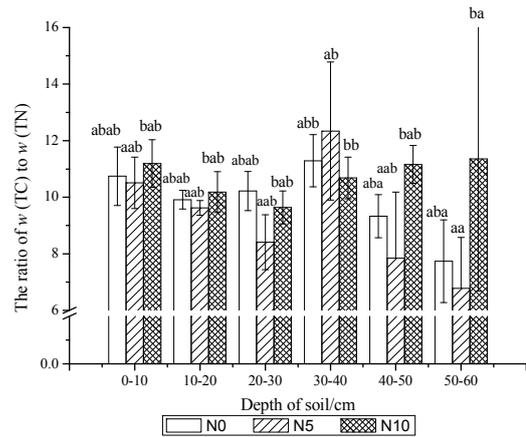


图7 氮沉降对土壤碳氮比垂直分布的影响

Fig. 7 Effects of nitrogen deposition on vertical distribution of the rate of TC:TN

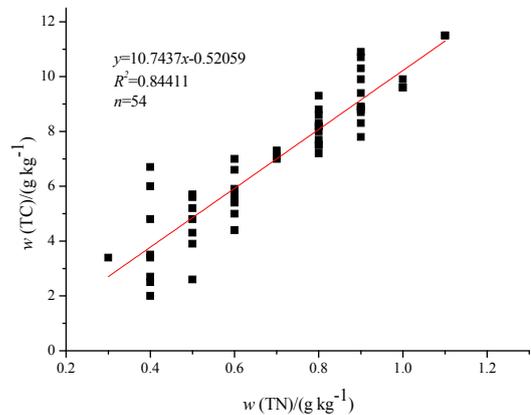


图8 总碳与全氮的线性拟合

Fig. 8 The linear fitting of total carbon and total nitrogen

( $r^2 = 0.84411$ )。土壤碳库对氮输入的反应, 与氮库对氮输入的反应类似, 需要考虑输入与输出的动态平衡。本研究的结果显示, 在增加氮输入的情况下, 总氮含量没有明显增长, 但氮素矿化有较明显的增长。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  最容易被植物吸收利用的氮素形式, 无机氮比例增加, 可能在一定时间范围内引起植物光合作用增加, 继而增加土壤碳库<sup>[24]</sup>。3个氮水平下 N0、N5、N10 的总碳峰值均出现在表层 0~10 cm, 其质量分数分别为  $(10.00 \pm 0.66)$ 、 $(9.83 \pm 1.94)$ 、 $(10.77 \pm 0.81) \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据图 6 的显著性分析结果显示, 尽管深层土壤 (40~60 cm) 在 N10 处理下总碳有一定增加, 不同施氮水平下的总碳含量并未呈现显著性差异, 土壤深度对总碳含量的影响作用要大一些。根据作者 2012 年的部分分析结果 (未发表), 表层土壤 (0~20 cm) 的无机碳质量分数约占 15%~20%, 根据资料, 这个比例会随着土层加深而有所增加<sup>[25]</sup>, 推测模拟氮沉降处理导致的土壤有机碳积累被低估, 应进一步探讨模拟氮沉降条件下土壤有机碳的垂直分布规律。

### 2.3 氮沉降对土壤微生物含量垂直分布的影响

如图 9 所示, 脂磷在不同氮沉降水平下的垂直分布。对照组 N0 的脂磷含量在表层 0~10 cm 出现峰值, 而 N5 和 N10 均在 30~40 cm 出现峰值而不是表层, 这表明在外加氮源的作用下, 土壤微生物在较深的土层中依然具有较大的含量<sup>[24]</sup>。3个氮沉降水平之间的差异显著 ( $P < 0.05$ ), N5 和 N10 水平下的微生物量均大于 N0。土壤中的氮素形态转化过程, 包括硝化作用, 反硝化作用、反硝化作用, 土壤呼吸作用等, 都与微生物活动息息相关。微生物量在土壤垂直分布上的规律性, 与氮沉降条件下的各种土壤生态过程的相关性还有待进一步探讨。

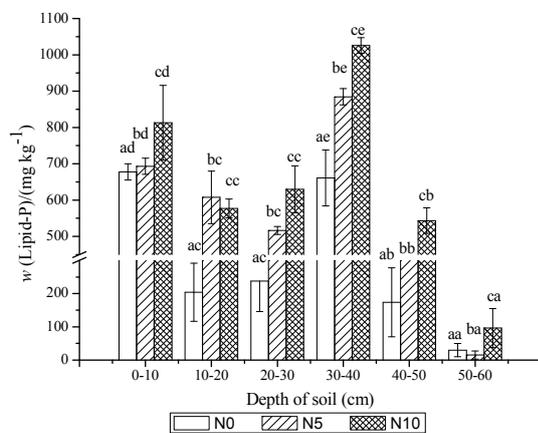


图 9 氮沉降对土壤脂磷垂直分布的影响

Fig. 9 Effects of nitrogen deposition on vertical distribution of the Lipid-P

### 3 结论

以  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  作为氮源, 在木荷人工幼林中设置 N0 ( $\text{N}: 0 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )、N5 ( $\text{N}: 5 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) 以及 N10 ( $\text{N}: 10 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) 3个水平进行现场模拟氮沉降试验, 第 22 次施氮后 5 d 采集样品, 对土壤中的氮素、碳素以及微生物含量的垂直分布进行研究分析, 结果表明:

(1) 以  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  作为氮源的模拟氮沉降, 对人工幼林地的土壤酸化存在一定潜在风险, 随着土层加深, pH 呈现出下降的趋势。

(2) 在 N0、N5、N10 三个模拟氮沉降水平下, 土壤全氮和总碳的垂直分布趋势大体一致, 均表现为随着土层加深, 含量下降, 但模拟氮沉降条件下的土壤有机碳积累可能被低估。

(3) 在 N5、N10 模拟氮沉降水平下, 土壤中的硝态氮含量在各个深度土层中都表现为比对照组要高, 表现出氮沉降的铵态氮向硝态氮的转化及其向深层土壤的迁移。

(4) 铵态氮在 0~20 cm 深度中, 外加氮源使得氮素流失, 铵态氮含量低于对照组, 铵态氮在较深的土层中有较多的积累, 存在污染地下水的风险。

(5) 在 N5、N10 模拟氮沉降水平下, 无机氮比例 (无机氮含量与总氮含量之比) 在各个深度土壤中总体高于 N0。

(6) 用脂磷表征土壤微生物含量, 结果表明氮沉降对土壤微生物含量有显著性的影响, 在 N5、N10 模拟氮沉降水平下, 土壤微生物含量显著高于对照 N0, 微生物含量在 30~40 cm 土层中出现峰值。

### 参考文献:

- 常运华, 刘学军, 李凯辉, 等. 大气氮沉降研究进展[J]. 干旱区研究, 2012, 29 (6): 972-979.
- DALTON H, BRAND-HARDY R. Nitrogen: the essential public enemy [J]. Journal of Applied Ecology, 2003, 40: 771-781.
- COWLING E, GALLOWAY J, FURNESS C, et al. Optimizing Nitrogen Management in Food and Energy Production and Environmental Protection: Summary Statement from the Second International Nitrogen Conference [J]. The Scientific World, 2001, 1(S2): 1-9.
- HUANG P, ZHANG J B, ZHU A N, et al. Atmospheric deposition as an important nitrogen load to a typical agroecosystem in the Huang-Huai-Hai Plain. 1. Measurement and preliminary results [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45: 3400-3405.
- 林兰稳, 肖辉林, 刘婷琳, 等. 广州东北郊大气氮湿沉降动态及其与酸雨的关系[J]. 生态环境学报, 2013, 22(2): 293-297.
- 方华, 莫江明. 活性氮增加: 一个威胁环境的问题[J]. 生态环境, 2006, 15(1): 64-168.
- 肖辉林. 大气N沉降的增加对森林营养和胁迫敏感性的影响[J]. 农业环境保护, 2000, 19(6): 378-379.
- GILLIAM F S. Response of the herbaceous layer of forest ecosystems to excess nitrogen deposition [J]. Journal of Ecology, 2006, 94: 1176-1191.

- [9] MO J M, ZHANG W, ZHU W X, et al. Response of soil respiration to simulated N deposition in a disturbed and a rehabilitated tropical forest in southern China [J]. *Plant Soil*, 2007, 296: 125-135.
- [10] MO J M, ZHANG W, ZHU W X, et al. Nitrogen Addition Reduces Soil Respiration in a Mature Tropical Forest in Southern China [J]. *Global Change Biology*, 2008, 14: 403-412.
- [11] 涂利华, 戴洪忠, 胡庭兴, 等. 模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹林土壤呼吸的影响 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 829-836.
- [12] 陈立新, 黄兰英, 乔璐, 等. 模拟氮沉降对温带不同森林类型土壤氮矿化速率的影响[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(6): 139-146.
- [13] EVANS C D, GOODALE C L, CAPORN S J M, et al. Does elevated nitrogen deposition or ecosystem recovery from acidification drive increased dissolved organic carbon loss from upland soil? A review of evidence from field nitrogen addition experiments [J]. *Biogeochemistry*, 2008, 91:13-35.
- [14] FANG H, MO J M, PENG S L, et al. Cumulative effects of nitrogen additions on litter decomposition in three tropical forests in southern China [J]. *Plant and Soil*, 2007, 297: 233-242.
- [15] 樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等. 模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响 [J]. *生态学报*, 2011, 31(12): 3277-3284.
- [16] LÜ C Q, TIAN H Q. Spatial and temporal patterns of nitrogen deposition in China: Synthesis of observational data [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112: D22S05.
- [17] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2006: 9-10, 73-75.
- [18] 于鑫, 张晓健, 王占生. 饮用水生物处理中生物量的脂磷法测定[J]. *给水排水*, 2002, 28(5): 1-6.
- [19] 魏谷, 于鑫, 叶林, 等. 脂磷生物量作为活性生物量指标的研究[J]. *中国给水排水*, 2007, 23(9): 1-4.
- [20] 肖辉林. 大气氮沉降对森林土壤酸化的影响[J]. *林业科学*, 2001, 37(4): 111-116.
- [21] 林岩, 段雷, 杨永森, 等. 模拟氮沉降对高硫沉降区森林土壤酸化的贡献[J]. *环境科学*, 2007, 3: 640-646.
- [22] 晏维金. 氮磷在水田湿地中的迁移转化及径流流失过程[J]. *应用生态学报*, 2004, 33(2): 93-97.
- [23] 朱兆良. 中国土壤氮素[M]. 江苏: 江苏科技出版社, 1992: 7.
- [24] 卢蒙. 氮输入对生态系统碳、氮循环的影响: 整合分析[D]. 上海: 复旦大学, 2009.
- [25] 黄姗姗. 广州帽峰山常绿阔叶林和杉木人工林土壤碳氮动态研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究所, 2012.

## Effects of simulated nitrogen deposition on the vertical distribution of soil nitrogen, carbon and microbial biomass in young *Schima superb* plantation

CAI Yuting<sup>1</sup>, HUANG Yongfang<sup>1</sup>, ZHANG Taiping<sup>1\*</sup>, XIAO Huilin<sup>2</sup>, LI Yuelin<sup>3</sup>

1. College of Environment and Energy, South China University of China, Guangzhou 510006, China;

2. Guangdong Institute of Ecology, Environmental and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China;

3. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

**Abstract:** A field experiment in young *Schima superb* plantation was conducted in Zengcheng, Guangzhou to study the response of the vertical distribution of soil nitrogen, soil carbon and soil microbial biomass to 3 levels of simulated nitrogen deposition (N0 treatment:  $N\ 0\ g\cdot m^{-2}\cdot a^{-1}$ . N5 treatment:  $N\ 5\ g\cdot m^{-2}\cdot a^{-1}$ . And N10 treatment:  $N\ 10\ g\cdot m^{-2}\cdot a^{-1}$ ). Soil samples were collected from the depth of 0~10, 10~20, 20~30, 30~40, 40~50 cm and 50~60 cm after successive 22 months' simulation. Indexes including soil nitrogen (nitrate, ammonia, and total nitrogen), carbon (total carbon) and microbial biomass (lipid-P) were measured. The results show that: pH showed a downward trend in three levels with the increase of soil depth, which means a risk of soil acidification; total nitrogen and total carbon in all levels show a similar trend in vertical distribution: decreases with depth; but in the depth of 40~60 cm, total carbon in N5 and N10 shows an increase compared with N0; the concentration of nitrate in N5 and N10 is higher than N0 except for that at 40~50 cm, which suggests nitrogen deposition lead to a certain degree of nitrate accumulation; in the depth of 0~20 cm, ammonium is at a low level and significantly lower than the control group (N0), while in the deeper layers, ammonium shows a higher content, which poses a threat to groundwater; in all layers, the proportion of inorganic nitrogen to total nitrogen in N5 and N10 level is higher than that in N0; microbial biomass differs significantly at different nitrogen deposition levels, and there are peak values in the depth of 30~40 cm at both levels of N5 and N10.

**Key words:** nitrogen deposition; *Schima superb*; young plantation; soil nitrogen; soil carbon; soil microbial biomass; vertical distribution