

鼎湖山森林土壤渗透水酸度和无机氮含量对模拟氮沉降增加的早期响应

方运霆^{1,3}, 莫江明^{1*}, 江远清^{1,3}, 李德军¹, PER Gundersen²

(1. 中国科学院华南植物园鼎湖山森林生态系统定位研究站, 广东 肇庆 526070;

2. Forest & Landscape Denmark, Hoersholm Kongevej 11, DK-2970;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 在林地分别喷加 0、50、100 和 150 kg N hm⁻² a⁻¹, 研究鼎湖山马尾松林、马尾松针阔混交林和季风常绿阔叶林中土壤 20 cm 深渗透水酸度和无机氮含量在开始 9 个月的变化。结果表明, 3 种森林对照样方土壤渗透水 pH 值为 3.82-4.24, 外加氮处理使其平均降低了 0.08-0.18。3 个森林对照样方土壤渗透水无机氮平均含量分别为 6.14、6.66 和 11.64 mg L⁻¹, 铵态氮占 15.0%、11.9% 和 3.0%。外加氮处理使 3 种森林土壤渗透水铵态氮和硝态氮含量均有不同程度的提高, 这表明外加氮处理不但增加了无机氮从森林土壤流失的潜力, 而且使土壤进一步酸化。

关键词: 氮沉降; 森林土壤渗透水; 铵态氮; 硝态氮; 鼎湖山; 南亚热带

中图分类号: S715

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2005)02-0123-07

Acidity and Inorganic Nitrogen Concentrations in Soil Solution in Short-term Response to N Addition in Subtropical Forests

FANG Yun-ting^{1,3}, MO Jiang-ming^{1*}, JIANG Yuan-qing^{1,3}, LI De-jun¹, PER Gundersen²

(1. Dinghushan Forest Ecosystem Research Station, South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences,

Zhaoqing 526070, China; 2. Forest & Landscape Denmark, Hoersholm Kongevej 11, DK-2970;

3. The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The effects of simulated N deposition on acidity and inorganic N concentrations in soil solution collected at 20 cm soil depth under pine forest, needle broadleaved mixed forest, and mature monsoon evergreen broadleaved forest in subtropical China were studied. Additional N (NH₄NO₃ solution) treatments were established for mature forest: Low N (50 kg N hm⁻² a⁻¹), Medium N (100 kg N hm⁻² a⁻¹) and High N (150 kg N hm⁻² a⁻¹), and Low N and Medium N treatments were established for mixed and pine forests. pH values in soil solution in the control plots of the 3 forests ranged from 3.82 to 4.24, but pH values decreased by 0.08-0.18 in plots treated by spraying additional nitrogen under the forests for 5 months. NH₄⁺-N concentrations in soil solution increased averagely by 74.0%, 355.6% and 57.9% in low N treatment and by 68.4%, 93.2%, and 188.8% in medium N treatment for pine forest, mixed forest, and mature forest, respectively. As in high N treatment it increased by 1254.7% for mature forest. The increases of NO₃⁻-N concentrations were by 56.4%-88.5% in low N treatment, by 65.6%-132.2% in medium N treatment, and by 85.5% in high N treatment. The results showed that additional N deposition increased the potential of inorganic N leaching losses and enhanced soil acidity.

Key words: Nitrogen deposition; Forest soil solution; NH₄⁺-N; NO₃⁻-N; Dinghushan Biosphere Reserve; Subtropics

收稿日期: 2004-06-16 接受日期: 2004-09-20

基金项目: 广东省自然科学基金 (021524); 国家自然科学基金 (30270283); 中国科学院知识创新工程领域前沿项目; 中国科学院华南植物研究所所长基金资助

* 通讯作者 Corresponding author

近半个世纪以来,由于矿物燃料、化肥使用和畜牧业发展等人类活动向大气中排放的含氮化合物激增,大气氮沉降在迅速增加,并呈现全球化的趋势^[1,2]。氮沉降增加可能会导致森林生态系统氮素循环特征、生物多样性和生态系统健康等一系列改变。国外已开展一些模拟氮沉降增加的生态系统研究,如欧洲 NITREX (Nitrogen Saturation Experiments) 和 EXMAN (Experimental Manipulation of Forest Ecosystems in Europe) 项目^[3,4];在美国马萨诸塞州 Harvard 森林、缅因州 Bear Brook 集水区和佛蒙特州 Mt. Ascutney 森林等已开展了 15 年的氮沉降模拟试验^[5,6]。我国一些地区也存在高氮沉降问题,如广东鼎湖山自然保护区仅降水氮沉降量就有 35.57 和 38.4 kg N hm⁻² a⁻¹^[7,8]。且据报道,从 1961 年至 2000 年,我国活性氮排放从 1.4×10⁷ t a⁻¹ 升至 6.8×10⁷ t a⁻¹,预计在 2030 年将达 1.05×10⁸ t a⁻¹^[9]。另一方面,气候和水分供应极大差异使氮沉降的分布、增加的速度及其影响将存在巨大的区域性差异^[1],这已引起了国际社会的高度关注^[1,9]。然而,有关氮沉降对我国森林生态系统结构和功能的影响及其机制方面的研究报道极少见。

在欧洲、北美温带和北方森林的研究表明,生态系统氮输入增加首先会增加森林土壤有效氮含量,缓冲生态系统对氮的竞争,从而增加生态系统生产力,此时,大部分输入的氮被生态系统截留;但是,外加的氮超出生态系统的需求(即生态系统达到氮饱和状态)时,土壤氮素硝化和反硝化作用速率开始增加。相应地,生态系统对氮的截留能力减少或丧失,生态系统开始表现氮素流失现象^[2,6]。因此,土壤无机氮是否开始流失常常作为评价一个森林生态系统是否达到饱和状态的首选指标^[6]。此外,有关氮沉降对森林生态系统影响的研究多集中在温带地区,而有关热带地区氮沉降的研究报道十分少见。

我们曾报道氮沉降对鼎湖山国家级自然保护区马尾松林、马尾松针阔混交林和季风常绿阔叶林中优势种凋落物分解^[10]、土壤 CH₄、CO₂ 其它排放^[11]、土壤有效氮含量与组成^[12]的早期影响特征。本文报道森林土壤渗透水(土深 20 cm)酸度和无机氮含量在开始的 9 个月(2003 年 8 月–2004 年 4 月)内对氮沉降的响应特征,为系统地揭示氮沉降对森林生态系统的影响及其机理提供基础。

1 研究地概况

鼎湖山国家级自然保护区位于广东省肇庆市东

北郊,东经 112°33',北纬 23°10',总面积约为 1155 hm²。气候具有明显的季风性,年平均降雨量为 1927 mm,其中 75%分布在 3 月到 8 月份,而 12 月到次年 2 月仅占 6%。年均相对湿度为 80%。年均温度为 21.4℃,最冷月(1 月)和最热月(7 月)的平均温度分别为 12.6℃和 28.0℃^[13]。

在马尾松针叶林、马尾松针阔混交林和季风常绿阔叶林各设置 1 块样地。样地土壤均为赤红壤,海拔高度约 100–350 m,坡度为 20–30°。针叶林样地位于保护区东南角缓冲带,森林于 1930–1950 年间营造,在过去允许当地农民砍小树和收割林下层作为薪柴。林下层植物稠密,以桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)等为优势^[12]。混交林在保护区的缓冲带地质疗养院背后,森林起源于上世纪 30 年代营造的马尾松林,因得到良好保护,荷木(*Schima superba*)和锥栗(*Castanopsis fissa*)等阔叶树种逐渐入侵而成^[12]。群落结构较为简单,乔木层为马尾松(*Pinus massoniana*)和荷木,更新层及灌木层为荷木、变叶榕(*Ficus variolosa*)、三叉苦(*Evodia lepta*)、豺皮樟(*Litsea rotundiflora*)和桃金娘等。阔叶林样地位于三宝峰东北坡,群落保存较完好。森林植物种类丰富,主要为锥栗、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*),结构复杂^[12]。

马尾松林和混交林 0–10 cm 和 10–20 cm 土壤中铵态氮含量、铵态氮的比例、pH 值和容重高于阔叶林,而硝态氮和总有效氮含量低于阔叶林,马尾松林和混交林间各指标差异不大^[12](表 1)。

2 研究方法

2.1 样地设置和处理

阔叶林设置对照 C、低氮 L、中氮 M 和高氮 H 4 个处理各 3 个样方,混交林和马尾松林分别设置 C、L、M 3 个处理各 3 个样方,合计 30 个样方。样方规格为 10 m×20 m,样方之间留有足够宽的缓冲带以防止相互之间干扰。对照 C、低氮 L、中氮 M 和高氮 H 4 个处理,分别按 0、50、100 和 150 kg N hm⁻² a⁻¹ 外加氮。我们把进行喷氮处理的样方(L、M 和 H)称为外加氮处理样方。2003 年 7 月开始,每月月初根据氮处理水平,将每个样方每次需要喷施的 NH₄NO₃ 溶解在 20 L 水中(全年所增加的水量相当于新增降水 1.2 mm),然后以背式喷雾器人工来回均匀喷洒在林地。对对照样方则喷洒同样多的水,以减少处理间因外加的水而造成对森林生物地球化学循环的影响^[12]。

2.2 实验方法

为便于取样和植被调查,样方分为8个5 m×5 m的小样方,并编上号(1-4号样方在下,5-8在上)。2003年4月,在3块样地所有样方的2和4号小样方各设置1个零张力土壤渗透水取样装置(不锈钢,方形,取样面积为755.4 cm²),用来收集20 cm深的土壤渗透水。取样时,计量水量后同一样方混合成1个水样。为收集穿透雨,分别在每个样地随机安置5个PVC管制作的沟槽式的取样装置(每个取样面积0.8 m²)。土壤渗透水和穿透雨自喷氮后每两个星期取样1次。另外,每次取样时采集大气降水水样2个(装置为玻璃漏斗下接一容量瓶)。所有水样带回实验室过滤后测定水样中的铵态氮(NH₄⁺-N)和硝态氮(NO₃⁻-N)含量。自2003年11月20日开始对收集的水样测定pH值。NH₄⁺-N测定用靛酚兰比色法,NO₃⁻-N用镀铜镉还原-重氮化偶比色法,pH值用玻璃电极法^[14]。研究期间(2003年8月13日-2004年4月27日)共收集大气降水

和穿透雨11次,土壤渗透水10次(秋冬季节由于降水少,取样时部分样方没有水样)。

2.3 数据统计

采用统计软件SPSS for windows 10.0中单因素方差分析(One way ANOVA)和邓肯多重比较(Duncan's multiple-range test)检验每次取样铵态氮含量、硝态氮含量和pH值在不同森林类型 and 同一森林类型不同氮处理间的差异。显著和极显著差异分别指在p=0.05和p=0.01水平上的差异。

3 结果和分析

3.1 大气降水

研究期间,大气降水pH值介于4.08-5.22之间,平均为4.54。不同取样时间,降水中无机氮浓度差异很大,在0.03-14.79 mg L⁻¹之间,平均2.90 mg L⁻¹。总无机氮(铵态氮+硝态氮)中,铵态氮占49.7%-88.8%(表2)。

表1 鼎湖山3个森林2003年6月至2004年3月土壤有效氮含量、pH值和容重

Table 1 Available nitrogen concentration, pH value and bulk density of soils in pine forest, needle broad-leaved mixed forest and monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan (means for June 2003 to March, 2004)

林型 Forest type	土层 Soil depth (cm)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	总有效氮 Total available N (mg kg ⁻¹)	铵态氮比例 Percent of NH ₄ ⁺ -N (%)	pH	容重 Bulk density (g cm ⁻³)
马尾松林 Pine forest	0-10	3.65±0.37	3.26±0.26	6.50±0.40	49.35±3.05	4.08±0.04	1.16±0.01
	10-20	2.94±0.35	3.28±0.38	5.89±0.52	47.17±2.96	4.25±0.02	1.48±0.03
	平均 Mean	3.30±0.26	3.27±0.23	6.19±0.33	48.26±2.12	4.16±0.04	1.32±0.02
混交林 Mixed forest	0-10	3.53±0.35	4.17±0.42	7.70±0.68	44.55±2.27	3.95±0.01	1.22±0.03
	10-20	3.42±0.50	2.79±0.27	6.15±0.71	47.11±2.58	4.19±0.01	1.43±0.08
	平均 Mean	3.47±0.30	3.49±0.26	6.95±0.49	45.79±1.71	4.07±0.05	1.32±0.05
阔叶林 Broad-leaved forest	0-10	1.79±0.24	11.57±1.48	13.82±1.47	26.04±4.13	3.81±0.03	0.98±0.04
	10-20	2.05±0.26	8.72±1.08	10.62±1.03	32.61±4.87	3.96±0.02	1.15±0.07
	平均 Mean	1.92±0.18	10.13±0.92	12.25±0.91	29.23±3.18	3.88±0.04	1.06±0.05

表2 鼎湖山大气降水pH值和无机氮含量

Table 2 pH and inorganic N concentration in rainfall collected during August 2003 to April 2004 in Dinghushan

取样时间 Sampling date	pH	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg L ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg L ⁻¹)	总无机氮 Total inorganic N (mg L ⁻¹)	铵态氮比例 Percent of NH ₄ ⁺ -N (%)
2003-8-13		1.03	0.31	1.34	76.9
2003-8-26		0.04	0.01	0.05	80.0
2003-9-12		0.02	0.01	0.03	66.7
2003-11-11		0.10	0.04	0.14	71.4
2003-11-20	4.45	0.14	0.05	0.19	73.7
2004-2-4	4.44	0.87	0.88	1.75	49.7
2004-3-21	4.97	9.65	5.14	14.79	65.0
2004-3-26	4.08	3.81	1.60	5.41	70.1
2004-3-30	4.23	2.50	1.06	3.56	70.1
2004-4-4	4.42	3.64	0.47	4.10	88.8
2004-4-27	5.22	0.30	0.30	0.60	50.0
平均值 Mean	4.54	2.01	0.90	2.90	69.3

3.2 穿透雨

马尾松林、混交林和阔叶林 3 个森林穿透雨的 pH 值为 5.98–6.88 (图 1), 比降水高 0.78–2.80。3 种森林穿透雨 pH 平均值分别为 6.52、6.53 和 6.29。马尾松林和混交林 pH 值比阔叶林的高, 6 次测定中有 3 次 (2003 年 11 月 20 日、2004 年 2 月 3 日和 2004 年 3 月 21 日) 差异显著 (图 1)。

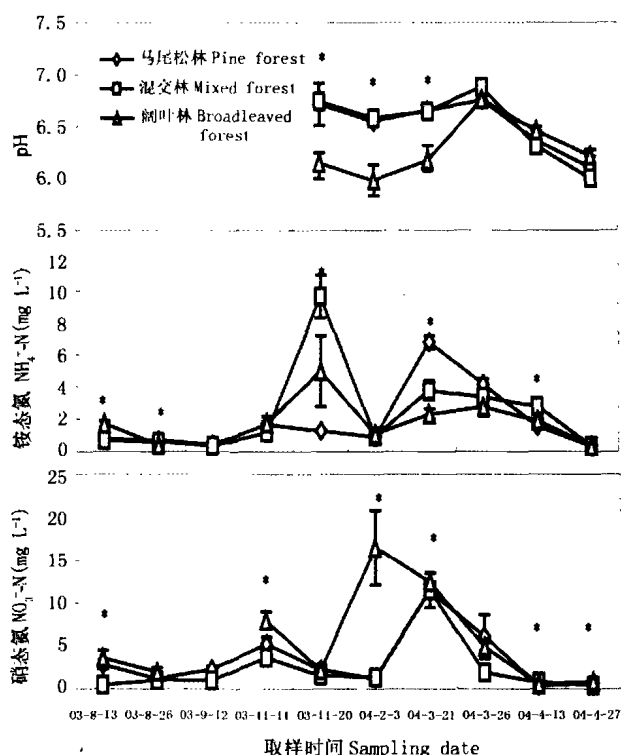


图 1 鼎湖山森林穿透雨 pH 值和无机氮含量

Fig. 1 pH and inorganic N concentrations in throughfall obtained from three forests in Dinghushan

* 表示 3 个森林间差异显著。Asterisks (*) denote that the values are significantly different at $p < 0.05$ among the three forests.

3 种森林穿透雨中铵态氮含量平均依次为 1.85、2.36 和 1.92 mg L^{-1} , 硝态氮为 3.34、2.34 和 5.65 mg L^{-1} 。穿透雨铵态氮含量比大气降水有时低, 有时高, 而硝态氮含量基本上比降水含量高 (表 2, 图 1)。穿透雨总无机氮中铵态氮的比例在 3 种森林中依次为 38.4%、50.9% 和 33.6%, 明显低于降水中的铵态氮比例, 说明降水对林冠的硝态氮有较强淋溶能力。3 种森林之间, 铵态氮差异规律不明显, 而对于硝态氮则大多数情况下阔叶林和马尾松林高于混交林 (图 2)。穿透雨的 pH 值与铵态氮含量呈极显著正相关关系 ($r = 0.37, n = 90$), 但与硝态氮含量间关系不显著 ($r = -0.07, n = 90$), 说明穿透雨的酸度主要受铵态氮含量的影响。正因为如此, 马尾松林和混交林穿透雨的酸性也就没有阔叶林的强。

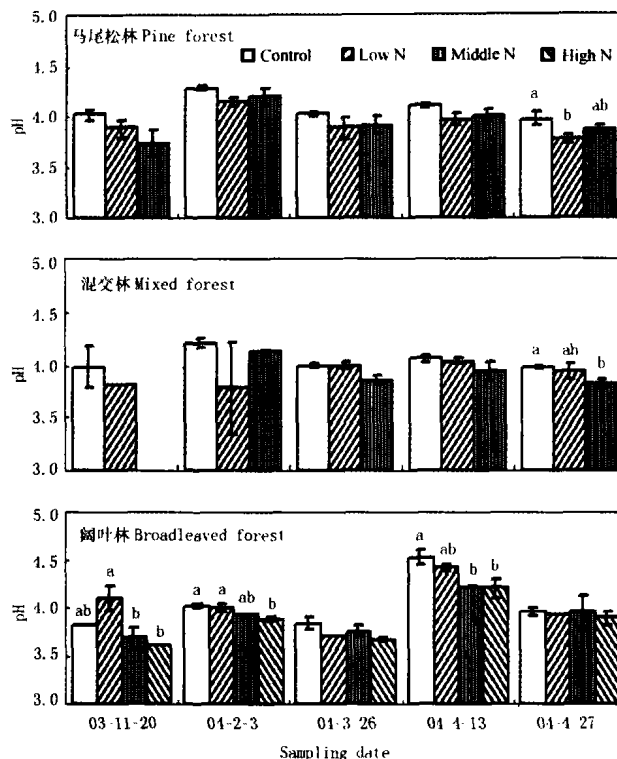


图 2 模拟氮沉降增加对鼎湖山森林土壤透水土酸度的影响

Fig. 2 pH in soil solution from 20 cm depth in three Dinghushan forests, in response to simulated additional nitrogen deposition

Values marked by different letters are significantly different at $p < 0.05$.

3.3 土壤渗透水

土壤渗透水在未处理样方中呈现强酸性, 其 pH 值变化范围为 3.82–4.24, 马尾松林、混交林和阔叶林平均为 4.08、4.04 和 4.03。除了 2004 年 4 月 13 日取样外, 马尾松林和混交林均高于阔叶林 (图 2)。几乎所有外加氮处理样方的土壤渗透水 pH 值均低于其对照样方 (图 2), 说明氮处理使土壤水更加酸化。自 2004 年开始 (试验进行 5 月后), 3 种森林低氮处理样方的土壤渗透水 pH 值比对照低 0.15、0.14 和 0.08, 中氮处理低 0.11、0.13 和 0.12, 阔叶林高氮处理低 0.18。

3 个森林对照样方土壤渗透水无机氮平均含量分别为 6.14、6.66 和 11.64 mg L^{-1} , 铵态氮含量占 15.0%、11.9% 和 3.0%。可见, 森林穿透雨在经过地表凋落物和 0–20 cm 土层后, 因植物吸收、微生物固持、土壤氮素转换和离子交换等原因, 铵态氮含量、铵态氮所占比例和 pH 值明显降低, 而硝态氮的含量则增加。

鼎湖山马尾松林、混交林和阔叶林 3 种森林外加氮处理样方在氮处理 1 个月后土壤渗透水铵态氮含量就比对照高, 其中阔叶林尤为明显, 说明外加氮处理使铵态氮含量增加 (表 3)。低氮处理使 3

表 3 鼎湖山森林土壤 20 cm 处渗透水铵态氮和硝态氮含量对模拟氮沉降的响应
Table 3 Concentrations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in soil solution collected at 20 cm soil depth
in three Dinghushan forests, in response to simulated nitrogen deposition

测定日期 Date measured	铵态氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg L^{-1})				硝态氮 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg L^{-1})			
	对照 Control	低氮 Low N	中氮 Middle N	高氮 High N	对照 Control	低氮 Low N	中氮 Middle N	高氮 High N
马尾松林 Pine forest								
2003-8-13	0.3±0.1	0.4±0.1	0.4±0.1		8.3±3.5	12.3±2.3	19.5±3.0	
2003-8-26	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0		5.4±4.3 b	24.7±3.3 a	11.3±2.3 b	
2003-9-12	0.1±0.0	0.1±0.0	0.0±0.0		5.8±4.4 b	8.6±2.8 b	14.6±6.4 a	
2003-9-17					6.0±1.7	14.5±3.4	15.0±0.8	
2003-11-11	1.6±0.5	3.1±0.5			10.2±1.2	10.7±1.4		
2003-11-20	1.2±0.4	2.8±1.2	2.0±0.8		5.6±0.9	7.1±0.5	14.5±7.4	
2004-2-3	1.3±0.2	1.6±0.1	2.2±0.2		2.4±0.1	5.5±1.4	8.0±1.3	
2004-3-26	2.5±1.2 b	3.4±1.5 ab	5.3±1.3 a		7.6±1.8 b	10.2±1.8 ab	15.6±2.5 a	
2004-4-13	0.2±0.1	0.9±0.2	0.7±0.5		0.5±0.2 b	3.7±0.7 b	5.5±0.3 a	
2004-4-37	0.1±0.0	0.1±0.1	0.1±0.0		1.4±0.3 b	3.3±0.6 a	3.8±0.1 a	
混交林 Mixed forest								
2003-8-13	0.1±0.0	1.2±0.9	0.6±0.3		4.3±2.4	6.8±1.5	8.0±0.3	
2003-8-26	0.1±0.0	0.4±0.2	0.2±0.2		3.9±3.3	8.3±4.1	9.7±1.3	
2003-9-12	0.1±0.0	0.1±0.0	0.3±0.1		13.6±10.3	14.6±6.1	7.8±1.1	
2003-9-17	0.2±0.1	0.1±0.0	0.3±0.2		14.2±7.0	17.6±14.0	26.9±3.9	
2003-11-11	0.6±0.3	4.4±2.2			5.1	18.7±3.4		
2003-11-20	3.3±0.1	18.2			6.8±3.8	6.3		
2004-2-3	1.0	2.6±0.3	2.7±0.6		4.1±0.3 b	5.8±0.8 b	19.2±3.0 a	
2004-3-26	0.3±0.2	3.4±2.0	3.4±2.2		4.5±0.7 b	6.3±3.8 b	20.3±3.7 a	
2004-4-13	1.4±0.0	2.0±0.5	3.3±1.3		2.1±0.4	5.2±1.4	11.5±4.8	
2004-4-37	0.0±0.0	0.1±0.1	0.3±0.1		0.9±0.2b	3.7±1.0 ab	7.4±1.7 a	
阔叶林 Broadleaved forest								
2003-8-13	0.2±0.1 b	0.2±0.1 b	0.6±0.1 b	1.6±0.3 a	19.3±3.3	13.8±4.6	34.0±9.6	20.9±2.0
2003-8-26	0.1±0.0	0.1±0.0	0.2±0.1	0.1±0.0	21.5±8.6	19.3±4.1	24.3±14.8	12.5±1.5
2003-9-12								
2003-9-17	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.1	0.0±0.0	19.1±2.1 b	67.3±6.6 a	24.5±0.9 b	47.1±19.5 ab
2003-11-11	0.9±0.1 d	2.4±0.5 c	3.9±0.6 b	7.5±0.3 a	12.7±1.2 c	17.3±2.2 b	21.2±4.6 ab	30.7±1.9 a
2003-11-20	1.2±0.7	0.7±0.4	2.0±1.7	29.4±16.4	9.6±2.3	10.2±1.0	16.8±4.8	21.4±8.3
2004-2-3	0.2±0.1 c	1.2±0.2 b	2.0±0.1 a	2.4±0.1 a	7.3±1.9 b	9.9±0.8 b	12.7±1.9 b	19.7±2.3 a
2004-3-26	0.4±0.2	0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	8.8±0.4	32.0	22.0±1.7	26.8±3.6
2004-4-13	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	2.3±0.4 b	5.2±0.5 ab	5.3±1.2 ab	6.6±1.8 a
2004-4-37	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	1.1±0.4	3.5±0.6	2.5±1.8	2.8±0.7

同行数据后不同字母表示处理间差异显著。Values in each line with different letters are significantly different at $p < 0.05$.

种森林土壤渗透水铵态氮平均增加了 74.0%、355.6%和 57.9%，中氮处理增加了 68.4%、93.2%和 188.8%，高氮处理使阔叶林增加了 1254.7%。马尾松林和混交林土壤渗透水硝态氮含量在氮处理后也立即增加，而阔叶林在氮处理 2 个月也开始增加（表 3）。整个研究期间，低氮处理使 3 个森林平均增加了 88.5%、56.4%和 75.4%，中氮处理增加了 124.4%、132.2%和 65.6%，高氮处理使阔叶林增加了 85.5%。外加氮处理使森林土壤渗透水铵态氮和硝态氮含量增加（表 3），同时也说明目前外加的氮可能已超出生态系统对氮的需求。

土壤渗透水 pH 值与铵态氮和硝态氮含量均呈

极显著负相关关系（铵态氮 $r = -0.23$ ，硝态氮 $r = -0.45$ ， $n = 301$ ），但 pH 值与硝态氮含量的相关系数较大，说明土壤渗透水的酸度更大程度上受硝态氮含量的影响，即土壤渗透水硝态氮含量越高，酸性越强。

4 讨论

从本研究结果来看，3 种森林土壤渗透水无机氮含量均以硝态氮为主，铵态氮仅占 3.0%–15.0%。土壤渗透水中主要以硝态氮为主是因为硝态氮带负电荷，容易从离子交换能力差的土壤中流失，而铵态氮容易被植物和微生物吸收或矿物质所固持^[2,6,15]。此外，虽然 3 种森林土壤渗透水湿季的硝态

氮含量低于干季,但由于湿季降水多,其渗透水量也大,因此硝态氮大部分可能进入河流等而造成环境污染。

本研究中,阔叶林无论全氮含量^[16]还是有效氮含量均约是马尾松林和混交林的 2 倍(表 1)。阔叶林植物叶片氮含量、凋落物氮素输入也高于马尾松林和混交林^[17],说明阔叶林生态系统相对于马尾松林和混交林更富氮。另外,从土壤渗透水无机氮含量和组成来看,也反映出阔叶林比马尾松林和混交林富氮。如马尾松林和混交林铵态氮含量是阔叶林的 2.4 和 2.1 倍,而硝态氮却只有阔叶林的 47.3% 和 52.7%,阔叶林土壤中铵态氮更多的被硝化成硝态氮。许多研究发现,富氮的生态系统在接受外加氮处理比贫氮的森林更容易表现出氮流失,对外加氮的响应更强烈^[2-6]。虽然阔叶林外加氮处理样方土壤渗透水的硝态氮在进行 2 个月后才高于对照(可能是因为阔叶林土壤最初的异质性较强,部分外加氮处理样方比对照样方贫氮),但是从外加氮处理样方和对照样方的土壤渗透水 pH 值和无机氮含量的差异显著程度来判断,阔叶林的响应更强烈。如阔叶林在试验进行第 4 个月,外加氮处理样方土壤渗透水的 pH 值就显著低于对照样方,而马尾松林和混交林在第 9 个月才开始出现该格局(图 2)。再如,外加氮处理进行 2 个月后的 7 次取样中有 5 次阔叶林外加氮处理样方土壤渗透水硝态氮含量显著高于对照样方,而马尾松林和混交林只有 4 和 3 次(表 3)。铵态氮含量对外加氮的响应也是如此(表 3)。可见,本研究的结果也支持富氮的森林生态系统对氮沉降的响应比贫氮的更强烈的观点。

外加氮模拟试验研究结果显示,由于温带地区大部分森林生产力受氮限制,生态系统只有经过很长一段时期的外加氮处理后,才开始出现氮素流失。许多研究证据(尽管大部分是间接的)显示,热带森林生态系统氮相对丰富,生产力并不受氮的限制。因此 Matson 等^[2,18]一些学者认为热带森林在氮沉降增加后,可能不像温带森林,把大部分输入的氮截留下来,而是输入氮很快就从土壤损失。有限的研究也表明,热带森林土壤 N₂O 和 NO 两种温室气体排放随氮输入增加成比例地增加的趋势比温带森林更加显著^[19]。本研究的鼎湖山保护区虽然处在热带的最北缘,但结果也显示外加氮处理使土壤渗透水铵态氮和硝态氮含量明显增加(表 3)。因此,这也进一步证实了 Matson 等关于热带森林对氮沉降响应格局的推论,同时也说明目前外加的氮

可能已超出生态系统对氮的需求,因此氮沉降增加将增加土壤无机氮和盐基离子流失的潜力。

热带地区大部分森林土壤呈酸性,其 pH 值一般都低于 5,有的低于 4^[2]。一般来说,当土壤 pH 下降到 4 以下,土壤可溶性 Al 含量剧烈增加^[2]。本研究结果还显示外加氮处理土壤渗透水酸度平均降低了 0.08–0.18(图 2),意味着氮沉降增加将使本已经酸化的土壤更加酸化。Al 离子含量增加不仅会抑制植物根系和微生物活动,而且进入水体后还会造成环境污染等。

参考文献

- [1] Galloway J N, Cowling E B. Reactive nitrogen and the world: 200 years of change [J]. *Ambio*, 2002, 31:64–71.
- [2] Matson P A, McDowell W H, Townsend A R, et al. The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments [J]. *Biogeochemistry*, 1999, 46:67–83.
- [3] Gundersen P, Emmett B A, Kjonaas O J, et al. Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forest: a synthesis of NITREX data [J]. *For Ecol Manag*, 1998, 101: 37–55.
- [4] Wright R F, Rasmussen L. Introduction to the NITREX and EX-MAN projects [J]. *For Ecol Manag*, 1998, 101:1–7.
- [5] Aber J D, McDowell W, Nadelhoffer K J, et al. Nitrogen saturation in Northern forest ecosystems, hypotheses revisited [J]. *Bioscience*, 1998, 48:921–934.
- [6] Fenn M A, Poth M A, Aber J D, et al. Nitrogen excess in north American ecosystems: Predisposing factors, ecosystem responses, and management strategies [J]. *Ecol Appl*, 1998, 8:706–733.
- [7] Huang Z L(黄忠良), Ding M M(丁明懋), Zhang Z P(张祝平), et al. The hydrological processes and nitrogen dynamics in a monsoon evergreen broad-leaved forest of Dinghu Shan [J]. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), 1994, 18(2):194–199. (in Chinese)
- [8] Zhou G Y(周国逸), Yan J H(闫俊华). The influence of region atmospheric precipitation characteristics and its element inputs on the existence and development of Dinghushan forest ecosystems [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2001, 21(12):2002–2012. (in Chinese)
- [9] Zheng X H, Fu C B, Xu X K, et al. The Asian nitrogen cycle case study [J]. *Ambio*, 2002, 31:79–87.
- [10] Mo J M(莫江明), Xue J H(薛璟花), Fang Y T(方运霆). The primary study on the effects of simulated N deposition on litter decomposition of the major forest plants in subtropical China [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2004, 24(7):1413–1420. (in Chinese)
- [11] Mo J M(莫江明), Fang Y T(方运霆), Xu G L(徐国良), et al. Responses of soil CO₂ emission and CH₄ uptake to simulated N deposition in the seedlings and the main forests of Dinghushan in subtropical China [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2005, (in press). (in Chinese)
- [12] Fang Y T(方运霆), Mo J M(莫江明), Zhou G Y(周国逸), et al. The short-term responses of soil available nitrogen of Dinghushan forests to simulated N deposition in subtropical China [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2004, 24(11): 2353–2359. (in Chinese)

- [13] Huang Z F(黄展帆), Fan Z G.(范征广). The climate of Ding Hu Shan [A]. In: Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, Vol. 1 [C]. Haikou: Popular Science Press, Guangzhou Branch, 1982. 11-23. (in Chinese)
- [14] Liu G S (刘光崧), Jiang N H(蒋能惠), Zhang L D(张连第), et al. Soil Physical and Chemical Analysis and Description of Soil Profiles [M]. Beijing: Standards Press of China, 1996. 121-265. (in Chinese)
- [15] Mo J M(莫江明), Yu M D(郁梦德), Kong G H(孔国辉). The dynamics of soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in a pine forest of Dinghushan, as assessed by ion exchange resin bag method [J]. Acta Phytocool Sin (植物生态学报), 1997, 21(4):335-341. (in Chinese)
- [16] Mo J M, Brown S, Peng S L, et al. Nitrogen availability in disturbed, rehabilitated and mature forests of tropical China [J]. For Ecol Manag, 2003, 175:573-583.
- [17] Zhang D Q(张德强), Ye W H(叶万辉), Yu Q F(余清发), et al. The litterfall of representative forests of successional series in Dinghushan [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2000, 20(6):938-944. (in Chinese)
- [18] Matson P A, Lohse K A, Hall S J. The globalization of nitrogen deposition: consequences for terrestrial ecosystems [J]. Ambio, 2002, 31(2):113-119.
- [19] Hall S J, Matson P A. Nitrogen oxide emissions after nitrogen additions in tropical forests [J]. Nature, 1999, 400:152-155.