

2008 年雪灾对武夷山毛竹林土壤微生物生物量氮和可溶性氮的影响^{*}

丁九敏^{1,2} 卜晓莉¹ 刘 胜¹ 徐涵涓¹ 汪家社³ 徐自坤³ 阮宏华^{1**}

(¹ 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏省林业生态工程重点实验室, 南京 210037; ² 连云港职业技术学院, 江苏连云港 222006; ³ 福建省武夷山国家级自然保护区管理局, 福建武夷山 354315)

摘 要 2008 年 1 月, 我国南方发生了严重的冰冻雪灾, 通过改变资源的有效性和异质性而对生态系统过程产生显著影响。本研究以福建武夷山遭受冰冻雪灾不同危害程度(轻、中、重 3 种类型)的毛竹林为试验地, 探讨了 08 雪灾干扰后毛竹林不同土层(0~10、10~25、25~40 cm)土壤微生物生物量氮和可溶性氮的变化特征。结果表明, 除 25~40 cm 土层土壤微生物生物量氮含量外, 各土层土壤微生物生物量氮、硝态氮含量均随受灾程度的加重而显著增加, 随土层深度的增加而减少。0~10 cm 土层土壤可溶性有机氮, 重度受灾竹林也显著高于轻度与中度受灾竹林。不同受灾竹林间的土壤微生物生物量氮、硝态氮、可溶性有机氮含量均与土壤温度、雪灾输入林地生物量显著正相关, 与竹林郁闭度显著负相关, 与土壤湿度不相关。本研究结果揭示, 由于雪灾导致生物与非生物因素的改变, 土壤中的氮可能以硝酸盐和可溶性有机氮的形式从生态系统中流失。

关键词 雪灾; 毛竹林; 土壤微生物生物量氮; 硝态氮; 土壤可溶性有机氮

中图分类号 S154 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)3-0517-06

Impacts of snow storm in 2008 on soil microbial biomass nitrogen and dissolved nitrogen in Moso bamboo forests in Wuyi Mountains. DING Jiu-min^{1,2}, BU Xiao-li¹, LIU Sheng¹, XU Han-mei¹, WANG Jia-she³, XU Zi-kun³, RUAN Hong-hua¹ (¹ Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering of Jiangsu Province, College of Forest Resources and Environmental Science, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; ² Lianyungang Technical College, Lianyungang 222006, Jiangsu, China; ³ Administrative Bureau of Wuyishan National Natural Reserve, Wuyishan 354315, Fujian, China). *Chinese Journal of Ecology* 2010 29(3) 517-522.

Abstract: In January 2008, an extraordinarily serious snow storm and freezing disaster occurred in southern China, giving obvious impacts on the ecosystem processes via altering the resources availability and heterogeneity. Taking the Moso bamboo forests with different damaged levels (light, moderate, and heavy) in Wuyi Mountains as test sites, this paper studied the effects of this snow storm on the microbial biomass nitrogen and total dissolved nitrogen in 0-10, 10-25, and 25-40 cm soil layers. Except the microbial biomass nitrogen content in 25-40 cm soil layer, the contents of microbial biomass nitrogen and nitrate in the three soil layers increased with increasing damaged level, and decreased with soil depth. The dissolved organic nitrogen content in 0-10 cm soil layer was significantly higher in heavily damaged bamboo forest than in lightly and moderately damaged bamboo forests. The contents of soil microbial biomass nitrogen, dissolved organic nitrogen, and nitrate in the forests were significantly positively correlated with soil temperature and the ground biomass input caused by the snow storm but negatively correlated with canopy closure, and had no relationship with soil moisture. It was suggested that owing to the changes of biotic and abiotic conditions caused by the snow storm, the soil nitrogen in the forests could be lost from the ecosystem in the forms of nitrate and dissolved organic nitrogen.

Key words: snow storm; Moso bamboo forest; soil microbial biomass nitrogen; nitrate; soil dissolved organic nitrogen.

* 国家自然科学基金项目(30670313)和国家林业公益资助项目(200804006 200704005/wb02)。

** 通讯作者 E-mail: hruan1690@yahoo.com

收稿日期: 2009-07-28 接受日期: 2009-10-31

毛竹(*Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens*)是我国南方主要经济竹种,高大、中空、枝叶茂盛,易受冰冻、雪压等自然干扰的影响。2008 年 1 月,我国南方广大地区暴发了百年一遇的冰雪灾害,造成毛竹林翻茆、折干、弯曲,林冠打开,改变了森林生态系统原有的物质与能量的动态平衡,森林生态系统必然在结构与功能水平上对此产生相应的响应。土壤溶液的化学性质经常是生态系统对于各种干扰或胁迫做出快速反应的一个重要的指示因子(McDowell *et al.* 2004),其中土壤氮素是植物生长的限制因子,同时也是生态系统对于干扰响应的敏感元素而受到研究者的关注(Turner *et al.* 2007)。过去 20 多年关于干扰对土壤溶液氮素影响的研究主要关注能够直接被植物吸收利用的可溶性无机氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$)(Edwards & Ross-Todd, 1979 ;Blood *et al.* ,1991 ;Prescott,1997),而近来研究表明,土壤中能够被水或盐溶液浸提出的有机氮素——土壤可溶性有机氮是土壤氮素中活跃的组分之一。它是土壤有效氮,可以直接或经过转化后被作物吸收利用(杨绒等 2007),同时它的移动性相对较强,可随水分运移而发生径流或淋溶损失,引起环境污染(刘艳等 2005)。因此,近年来对于可溶性有机氮的研究成为焦点。土壤微生物生物量是土壤有机质中最为活跃的部分,在土壤碳氮循环过程及其对人类活动和自然因素影响的响应中具有重要的表征功能(吴建国和艾丽,2008),但对于干扰特别是自然干扰后土壤可溶性有机氮及微生物生物量氮的研究较少。国内外对于自然干扰的研究主要集中在风灾(飓风、台风)和火灾,而关于冰冻雪灾特别是冰冻雪灾对土壤生态学过程影响的研究还鲜见报道。因此,本文选择福建武夷山不同受灾程度的毛竹林为试验地,通过对土壤无机氮及可溶性有机氮,微生物生物量氮的测定与分析,试图回答不同受灾程度竹林土壤微生物生物量氮和可溶性无机及有机氮含量的变化特征及其影响机制,为进一步探索生态系统对雪灾自然干扰的响应与恢复机制提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

武夷山国家级自然保护区(27°33'N—27°54'N , 117°27'E—117°51'E)位于福建省西北部的武夷山脉脊部,东西宽 22 km ,南北长 52 km ,总面积 56527 hm^2 。地处中亚热带,平均气温 12 $^{\circ}\text{C}$ ~ 18 $^{\circ}\text{C}$,年均

相对湿度 82% ~ 85% ,年均雾日 100 d 以上,年均降水量 2000 mm 左右(施政等 2008)。受太平洋东南季风影响,呈夏高温、高湿,冬冷不寒,季节变化明显,降雨量充足,夏季降雨量多冬季少,且风小,水热基本同期,是我国毛竹的中心产区。土壤类型属亚热带酸性山地森林土壤。森林覆盖率达 95.3% ,其中毛竹林面积占全区有林地面积的 15.4%(张翎和邓荣华,1990)。

1.2 样地设置

研究样地位于 27°48'N ,117°42'E ,海拔 963 m 的毛竹纯林内。根据毛竹林实际受灾情况划分为 3 个受灾等级:轻度、中度和重度受灾(表 1)。受灾等级根据毛竹受灾情况调查的受损率来划定,在样地内记录翻茆(倒伏)、折断竹数目,倒伏率 = 样地内倒伏竹数/样竹总数 $\times 100\%$;折断率 = 样地内折断竹数/样竹总数 $\times 100\%$;受损率 = 倒伏率 + 折断率。每一受灾等级分别选择同一坡向、坡位相同的具有代表性毛竹林,随机设置 3 块试验样地,共 9 块,每块样地大小为 10 m \times 10 m ,9 块样地紧密相连。

1.3 样品的采集与处理

2008 年 8 月,在同一受灾等级的 3 个重复样地内,除去土壤表层凋落物后,用直径为 2 cm 土壤采样器采取 0 ~ 10、10 ~ 25 和 25 ~ 40 cm 层土壤样品各 1 份,每份土壤样品由对应样地中 S 形法随机采取的 10 个土芯混合而成,共计 27 份土样。土样装入自封袋中,带回实验室充分混匀后,挑除其中的石块、根系、小动物等杂物,每份土样分成 2 份,1 份鲜样过 2 mm 筛,放在自封袋中,4 $^{\circ}\text{C}$ 保存,用于土壤微生物生物量氮和可溶性氮的测定,另 1 份自然风干、磨细、过筛,进行土壤理化性质分析。

1.4 测定方法

土样基本理化性质的测定用常规分析方法(林大仪 2004),土壤总有机碳(TOC)、重铬酸钾外加热法,土壤全氮用 VARIO EL 元素分析仪测定;土壤 pH 值用水浸提(土:水 = 1:2.5),电位法测定;土壤含水率用重量法测定;土壤容重的测定用环刀法;

表 1 样地设置
Tab.1 Sampling sites design

样地	倒伏率(%)	折断率(%)	受损率(%)
轻度受灾	1.67 \pm 0.33	8.69 \pm 0.69	10.36 \pm 0.36
中度受灾	9.06 \pm 1.20	12.78 \pm 1.47	21.83 \pm 1.59
重度受灾	22.40 \pm 0.71	21.30 \pm 2.43	43.70 \pm 1.72

数值为均值 \pm 标准误。下同。

0~10 cm 土壤温度用 Li-6400 便携式光合作用测定仪上的温度探头来测定。

土壤微生物生物量氮(MBN) ,用氯仿熏蒸 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{K}_2\text{SO}_4$ 浸提 ,茚三酮比色法测定(吴金水等 2006) ;土壤可溶性氮(TDN) ,去离子水浸提 , (土: 水 = 1: 2) ,抽滤(Jiang *et al.* 2006)滤液在岛津 TOC-Vcph 有机碳分析仪上测定 ;同一滤液中的 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 用流动分析仪测定 ;土壤可溶性有机氮(DON)含量根据土壤可溶性氮和无机氮($\text{NH}_4^+-\text{N} + \text{NO}_3^--\text{N}$)含量的差值求得(王红霞等 , 2008) ;竹林郁闭度 ,用 WinScanopy 冠层分析仪测定 ;雪灾输入林地生物量 ,用何东进等(2003)建立的武夷山毛竹各组分生物量优化模型模拟因雪灾输入林地的生物量 ,秆 = $507.2546D^{1.4289}$ 、枝 = $79.3642D^{2.9986}H^{-1.2548}$ 、叶 = $0.0053D^{13.1657}H^{-6.9565}$, D 为胸径 H 为树高。

表 2 不同受灾程度竹林土壤理化性质的比较

Tab.2 Comparison of soil chemical and physical properties of bamboo forests with different damaged levels

样地	土层深度	含水率 (%)	有机碳 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全 氮 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	pH	容 重 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	土壤温度 ($^{\circ}\text{C}$)	郁闭度 (%)	雪灾输入 林地生物量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)
轻度	0~10	30.40±1.82A	43.31±1.70A	3.39±0.25A	4.95±0.21A	0.77±0.04A	21.23±0.02A	89.44±2.42A	0.60±0.07A
	10~25	28.98±3.33A	28.65±0.90A	2.74±0.03A	5.50±0.22A	1.02±0.02A			
	25~40	29.23±0.65A	18.26±2.58A	1.87±0.17A	5.32±0.09A	1.06±0.02A			
中度	0~10	30.51±2.24A	44.03±1.50A	3.99±0.14A	4.76±0.23A	0.83±0.04A	21.37±0.12AB	72.88±1.26B	1.05±0.11B
	10~25	30.73±3.28A	28.65±3.46A	2.87±0.30A	5.07±0.19A	1.00±0.08A			
	25~40	30.29±3.46A	19.98±2.56A	1.99±0.24A	4.97±0.13A	1.11±0.05A			
重度	0~10	31.76±1.73A	45.05±3.61A	3.88±0.45A	5.65±0.26A	0.87±0.06A	21.60±0.08B	48.67±4.49C	2.21±0.07C
	10~25	29.79±1.80A	27.03±2.22A	2.98±0.20A	5.55±0.08A	0.94±0.02A			
	25~40	29.05±0.85A	21.09±3.06A	2.18±0.27A	5.49±0.17A	0.97±0.04A			

同列大写字母表示同一土层不同受灾程度竹林样地间差异 ,不同字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。

重>中>轻 ,重度与轻度受灾竹林样地间土壤温度差异显著 ,而重度与中度、中度与轻度受灾竹林样地间土壤温度无显著差异(表 2)。

2.2 土壤微生物生物量氮

由图 1 可知 ,重度受灾竹林 0~10 和 10~25 cm 土层 MBN 含量为 634.57 和 296.31 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,分别是轻度受灾竹林对应土层 MBN 含量的 1.62 和 1.41 倍。重度与中度受灾竹林 MBN 含量无显著差异 ,但均显著高于轻度受灾竹林。25~40 cm 土层 ,不同受灾程度竹林 MBN 含量无显著差异。同一受灾程度竹林 ,MBN 含量随着土层深度的增加而显著减小。

2.3 土壤可溶性氮

由表 3 可以看出 ,除轻度受灾竹林 25~40 cm

1.5 统计分析

运用 one-way ANOVA 分析竹林不同受灾程度、不同土壤层次数据间的差异显著性 ;采用线性回归方法分析不同受灾程度竹林土壤 MBN、 NO_3^--N 、DON 与竹林受损率、雪灾输入林地生物量、竹林郁闭度、土壤温度、土壤湿度的相关性。所有统计分析采用 SPSS 11.5 统计软件进行 ,文中图均通过 Excel 2003 获得。

2 结果与分析

2.1 土壤基本理化性质

不同受灾程度竹林各对应土层的土壤容重、有机碳、全氮、pH、土壤含水率均无显著差异 ,而雪灾输入林地生物量(秆 + 叶 + 枝) ,随受灾程度的增重而显著增加 ,竹林郁闭度随受灾程度的增重而显著降低 ;不同受灾程度竹林 0~10 cm 土层土壤温度 ,

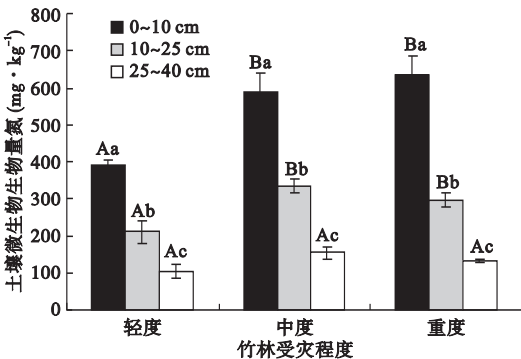


图 1 不同受灾程度竹林不同土层土壤微生物生物量氮的含量
Fig.1 Concentrations of soil microbial biomass nitrogen of different soil layers in bamboo forests with different damaged levels
不同大写字母表示同一土层不同受灾程度竹林样地间差异显著 ;不同小写字母表示同一受灾程度不同土层竹林样地间差异显著 ($P<0.05$)。

表 3 不同受灾程度竹林不同土层土壤可溶性氮的含量
Tab.3 Concentrations of soil dissolved nitrogen of different soil layers in bamboo forests with different damaged levels

样地	土层深度 (cm)	NO ₃ ⁻ -N (mg · kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N (mg · kg ⁻¹)	DON (mg · kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N /TDN (%)
轻度	0 ~ 10	5. 85 ± 0. 42 aA	0. 88 ± 0. 38 aA	0. 38 ± 0. 12 aA	82. 28
	10 ~ 25	1. 77 ± 0. 65 bA	0. 78 ± 0. 14 aA	0. 73 ± 0. 37 aA	53. 96
	25 ~ 40	0. 70 ± 0. 14 bA	0. 75 ± 0. 11 aA	0. 65 ± 0. 14 aA	33. 33
中度	0 ~ 10	11. 86 ± 1. 93 aB	1. 55 ± 0. 22 aA	0. 44 ± 0. 10 aA	85. 63
	10 ~ 25	3. 77 ± 0. 06 bB	0. 44 ± 0. 13 bA	0. 60 ± 0. 05 aA	78. 38
	25 ~ 40	2. 32 ± 0. 14 cB	0. 56 ± 0. 04 bA	0. 80 ± 0. 15 aA	63. 04
重度	0 ~ 10	16. 43 ± 3. 00 aB	0. 74 ± 0. 51 aA	1. 78 ± 0. 26 aB	86. 70
	10 ~ 25	5. 54 ± 1. 08 bB	0. 61 ± 0. 38 aA	0. 78 ± 0. 21 bA	79. 94
	25 ~ 40	3. 24 ± 0. 81 bB	0. 43 ± 0. 24 aA	0. 50 ± 0. 09 bA	77. 70

同列不同大写字母为同一土层不同受灾程度竹林样地间差异显著 ,不同小写字母表示同一受灾程度不同土层竹林样地间的差异显著 ($P < 0. 05$)。

表 4 不同受灾程度竹林土壤微生物生物量氮、硝态氮、可溶性有机氮含量与竹林生态因子之间的相关分析
Tab.4 Correlation analysis between concentrations of soil microbial biomass nitrogen , nitrate , dissolved organic nitrogen and ecological factors in bamboo forests with different damaged levels

因子	受损率	MBN	NO ₃ ⁻ -N	DON	土壤温度	土壤湿度	郁闭度	雪灾输入 林地生物量
MBN	0. 70 *							
NO ₃ ⁻ -N	0. 76 *	0. 92 **						
DON	0. 85 **	0. 39 *	0. 51 **					
土壤温度	0. 61	0. 83 **	0. 92 **	0. 76 *				
土壤湿度	0. 26	0. 21	0. 07	0. 14	0. 39			
郁闭度	- 0. 94 **	- 0. 82 **	- 0. 87 **	- 0. 89 **	- 0. 79 *	- 0. 15		
雪灾输入林地生物量	0. 98 **	0. 74 *	0. 82 **	0. 90 **	0. 71 *	0. 27	- 0. 93 **	

MBN、NO₃⁻ -N、DON 间及其与土壤湿度之间的相关分析 $n = 27$,其余测定数据间的相关分析 $n = 9$; * $P < 0. 05$, ** $P < 0. 01$ 。

土层外 ,土壤 NO₃⁻ -N 是不同受灾程度竹林各土层土壤可溶性氮的主要组成形式。同一土层不同受灾程度竹林土壤 NO₃⁻ -N 含量的变化规律在各土层中均表现为重 > 中 > 轻 ,重度受灾竹林 0 ~ 10、10 ~ 25 和 25 ~ 40 cm 土层土壤 NO₃⁻ -N 含量分别是轻度受灾竹林各对应土层的 2. 90、3. 13 和 4. 63 倍。随受灾程度的加重 ,各土层不仅 NO₃⁻ -N 含量逐渐增加 ,而且 NO₃⁻ -N 占可溶性氮的比例也逐渐增加。方差分析显示 ,重度、中度受灾竹林与轻度受灾竹林各对应土层土壤 NO₃⁻ -N 含量差异显著 ,而重度和中度受灾竹林各对应土层土壤 NO₃⁻ -N 含量无显著差异。不同受灾程度竹林各对应土层土壤 NH₄⁺ -N 含量无显著差异 ,而土壤 DON 含量在 0 ~ 10 cm 土层表现为重 > 中 > 轻 ,重度受灾竹林土壤 DON 含量与轻度和中度受灾竹林间差异显著 ,而轻度和中度受灾竹林间土壤 DON 含量差异不显著。10 ~ 25 和 25 ~ 40 cm 土层不同受灾程度竹林土壤 DON 含量无显著差异。

同一受灾程度不同土层间土壤 NO₃⁻ -N 含量均表现为随着土层深度的增加而显著减小 ,除中度受

灾竹林外 ,土壤 NH₄⁺ -N 含量不同土层间无显著差异 ,土壤 DON 含量除重度受灾竹林 0 ~ 10 cm 土层与下 2 层土壤差异显著外 ,轻度与中度受灾竹林土壤 DON 含量随土层深度的增加无显著差异。

2.4 土壤微生物生物量氮、硝态氮、可溶性有机氮与竹林生态因子间的关系

相关分析表明 ,MBN、NO₃⁻ -N、DON 含量与竹林受损率、雪灾输入林地生物量、土壤温度成显著正相关 ,而与林地郁闭度显著负相关 ,与土壤湿度不相关 ,而且 NO₃⁻ -N、DON 含量均与 MBN 含量显著正相关。土壤温度与竹林郁闭度显著负相关 ,与雪灾输入林地生物量显著正相关。

3 讨 论

3.1 冰冻雪灾对竹林 MBN 的影响

土壤微生物生物量作为土壤养分转化的活性库或源 ,是稳定态养分转变为有效态养分的催化剂 (何友军等 ,2006 ;仇少君等 ,2006) ,其高低可部分反映土壤微生物活动的强弱和养分转化速率的快慢 ,是土壤微生物质量变化的灵敏指标(贾伟等 ,

2008)。土壤微生物生长所需的有效碳源对外来有机质的输入非常敏感(何容等,2009),王国兵等(2008)研究发现,清除地表凋落物会显著减少土壤微生物生物量,有机质输入量越大,微生物生物量越高(Peacock *et al.*, 2001)。雪灾导致竹林翻倒、折干以及竹叶大量掉落,使竹林生态系统地上活生物量转化为死木和凋落物,使有机质输入量在短时间内大量增加,且受灾越重,输入林地有机质量越多,则微生物生物量应该越高。本研究表明,除 25 ~ 40 cm 土层外,各土层重度、中度受灾竹林 MBN 含量都显著高于轻度受灾竹林,但重度与中度受灾竹林 MBN 含量无显著差异。同时重度受灾竹林 0 ~ 10 cm 土层土壤温度显著高于轻度受灾竹林,而重度与中度、中度与轻度受灾竹林样地间土壤温度无显著差异。且土壤微生物生物量氮与竹林受损率、雪灾输入林地生物量、土壤温度等显著正相关,说明雪灾导致的林地输入生物量的增加和非生物因素(主要是温度)的提高,可能影响了微生物的种类组成、数量,有利于微生物活性的提高,导致土壤微生物生物量的增大。Ranger 等(2007)观测到森林皆伐后表土层土壤微生物生物量增加,本研究结果与其相似。

3.2 冰冻雪灾对竹林土壤可溶性无机及有机氮的影响

据报道,在森林生态系统中干扰活动将大量的有机态氮转化为易于流失状态的可溶性氮,增加了土壤中无机氮的浓度和流失的可能性(Bonilla & Roda, 1990; Adams & Attiwill, 1991)。Likens 等(1969)发现,在 New Hampshire 森林被砍伐后土壤硝态氮水平显著升高。McDowell(2001)的研究指出飓风过后溪流和土壤中硝态氮浓度均大幅度增加。Legout 等(2008)观测到暴风雪过后的第 2 年夏天受灾阔叶林与未受灾样地相比 10 和 30 cm 土壤 NO_3^- -N 含量显著增加,而 NH_4^+ -N 含量无显著差异。而多数对火烧后森林土壤氮的研究表明,森林土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 含量均显著增加(郭剑芬等,2008)。而森林采伐、飓风、有机质的添加等干扰或处理后土壤可溶性有机氮浓度会迅速提高(Kalbitz *et al.*, 2000; McDowell *et al.*, 2004)。本研究表明,土壤 NO_3^- -N 是不同受灾程度竹林土壤可溶性氮的主要组成形式,重度、中度受灾竹林各土层土壤 NO_3^- -N 含量显著高于轻度受灾竹林,同时随受灾程度的加重,各对应土层不仅 NO_3^- -N 含量逐渐增加,而且 NO_3^- -N 占可溶性氮的比例也逐渐增高。而不同受

灾程度竹林各对应土层土壤 NH_4^+ -N 含量无显著差异。土壤 DON 含量仅在 0 ~ 10 cm 土层,重度受灾竹林显著高于中度与轻度受灾竹林。且土壤 NO_3^- -N、DON 含量与竹林受损率、雪灾输入林地生物量、土壤温度显著正相关。此现象表明,竹林受灾程度的加重,增加了土壤 NO_3^- -N 和 DON 从林地中流失的可能性。这种现象产生的原因可能与以下 2 个方面有关:

1) 干扰后由于土壤环境的改变,森林土壤有机质的矿化率特别是硝化率通常都会提高(Vitousek *et al.*, 1979; Attiwill & Adams, 1993; Ranger *et al.*, 2007),将大量的有机态氮转化为易于流失状态的可溶性氮。雪灾后随受灾程度的增加,可能土壤硝化率会提高,同时影响氮硝化的因子(如温度随受灾程度的增加而增加)比较适宜,有利于土壤 NO_3^- -N 含量的增加。而多数干扰或处理可提高森林土壤溶液 DON 浓度,这一效应是典型的微生物调节的过程(Kalbitz *et al.*, 2000)。本实验也观测到,随着竹林受灾程度的增加,土壤微生物活性增强,且土壤 NO_3^- -N、DON 含量均与 MBN 含量、土壤温度显著正相关,说明生物和非生物因素的协同作用,可能导致土壤中的氮以硝酸盐和 DON 的形式从森林生态系统中流失。

2) 干扰或处理后森林土壤氮的流失一方面是由于氮矿化率的提高;另一方面是由于植物或微生物同化的降低。在本研究中重度、中度受灾竹林 MBN 含量显著高于轻度受灾竹林,植物吸收固定土壤中有效氮的减少可能是其主要原因。本试验根据当时竹林实际受灾情况划分的轻度、中度、重度受灾竹林受损率分别为 10.36%、21.83% 和 43.70%,且随着受灾程度的加重,不仅受损率增加,倒伏率也逐渐增加,说明受灾较重样地植物活性降低或植物死亡导致植物对土壤有效氮的吸收降低,增加了土壤 NO_3^- -N 和 DON 从林地中流失的可能性。

需要指出的是,土壤可溶性氮和微生物生物量氮可能存在较强的季节变化,简单的一次性测定只能代表该时期的状况,多数干扰或处理后土壤可溶性氮浓度的提高及养分的流失,大多持续 1 ~ 2.5 年就降低到受灾前的水平(McDowell, 2001; Turner *et al.*, 2007)。要想较全面地反映冰冻雪灾对竹林土壤微生物生物量氮和可溶性氮的影响及这一效应持续时间的长短,尚需进一步研究。

参考文献

- 仇少君,彭佩钦,刘 强,等. 2006. 土壤微生物生物量氮及其在氮素循环中作用. 生态学杂志, **25**(4): 443-448.
- 郭剑芬,杨玉盛,陈光水,等. 2008. 采伐和火烧对森林氮动态的影响. 生态学报, **28**(9): 4460-4468.
- 何 容,王国兵,汪家社,等. 2009. 武夷山不同海拔植被土壤微生物量的季节动态及主要影响因子. 生态学杂志, **28**(3): 394-399.
- 何东进,洪 伟,吴承祯,等. 2003. 武夷山毛竹天然林生物量与能量分配规律及其与人工林的比较研究. 西北植物学报, **23**(2): 291-296.
- 何友军,王清奎,汪思龙,等. 2006. 杉木人工林土壤微生物生物量碳氮特征及其与土壤养分的关系. 应用生态学报, **17**(12): 2292-2296.
- 贾 伟,周怀平,解文艳,等. 2008. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, **14**(4): 700-705.
- 林大仪. 2004. 土壤学实验指导. 北京: 中国林业出版社.
- 刘 艳,周国逸,刘菊秀. 2005. 陆地生态系统可溶性有机氮研究进展. 生态学杂志, **24**(5): 573-577.
- 施 政,汪家社,何 容,等. 2008. 武夷山不同海拔土壤呼吸及其主要调控因子. 生态学杂志, **27**(4): 563-568.
- 王国兵,阮宏华,唐燕飞,等. 2008. 北亚热带次生栎林与火炬松人工林土壤微生物生物量碳的季节动态. 应用生态学报, **9**(1): 37-42.
- 王红霞,周建斌,雷张玲,等. 2008. 有机肥中不同形态氮及可溶性有机碳在土壤中淋溶特性研究. 农业环境科学学报, **27**(4): 1364-1370.
- 吴建国,艾 丽. 2008. 祁连山3种典型生态系统土壤微生物活性和生物量碳氮含量. 植物生态学报, **32**(2): 465-476.
- 吴金水,林启美,黄巧云,等. 2006. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社.
- 杨 绒,周建斌,赵满兴. 2007. 土壤中可溶性有机氮含量及其影响因素研究. 土壤通报, **38**(1): 15-18.
- 张 翊,邓荣华. 1990. 武夷山区毛竹生长气候条件探讨. 竹子研究汇刊, **9**(2): 37-46.
- Adams MA, Attiwill PM. 1991. Nutrient balance in forests of northern Tasmania. 2. Alteration of nutrient availability and soil water chemistry as a result of logging, slash burning and fertilizer application. *Forest Ecology and Management*, **44**: 115-131.
- Attiwill PM, Adams MA. 1993. Nutrient cycling in forests. *New Phytologist*, **124**: 561-582.
- Blood ER, Anderson P, Smith PA, et al. 1991. Effects of Hurricane Hugo on coastal soil processes. *Biotropica*, **23**: 348-355.
- Bonilla D, Roda F. 1990. Nitrogen cycling responses to disturbance: Trenching experiments in an evergreen oak forest// Harrison AF, Ineson P, Heal OW, eds. *Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems*. London: Elsevier: 179-189.
- Edwards NT, Ross-Todd BM. 1979. The effects of stem girdling on biochemical cycles within a mixed deciduous forest in eastern Tennessee. 1. Soil solution chemistry, soil respiration, litterfall and root biomass studies. *Oecologia*, **40**: 247-257.
- Jiang PK, Xu QF, Xu ZH, et al. 2006. Seasonal changes in soil labile organic carbon pools within a *Phyllostachys praecox* stand under high rate fertilization and winter mulch in subtropical China. *Forest Ecology and Management*, **236**: 30-36.
- Kalbitz K, Solinger S, Park JH, et al. 2000. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review. *Soil Science*, **165**: 277-304.
- Legout A, Nys C, Picard JF, et al. 2008. Effects of storm Lothar (1999) on the chemical composition of soil solutions and on herbaceous cover, humus and soils (Fougères, France). *Forest Ecology and Management*, **257**: 800-811.
- Likens CE, Bormann FH, Johnson NM. 1969. Nitrification: Importance to nutrient losses from a cutover forested ecosystem. *Science*, **163**: 1205-1206.
- McDowell WH, Magill WH, Aitkenhead JA, et al. 2004. Effects of chronic nitrogen amendment on dissolved organic matter and inorganic nitrogen in soil solution. *Forest Ecology and Management*, **196**: 29-41.
- McDowell WH. 2001. Hurricanes, people, and riparian zones: Controls on nutrient losses from forested Caribbean watersheds. *Forest Ecology and Management*, **154**: 443-451.
- Peacock AD, Mullen MD, Ringelberg DB, et al. 2001. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biology and Biochemistry*, **33**: 1011-1019.
- Prescott CE. 1997. Effects of clearcutting and alternative silvicultural systems on rates of decomposition and nitrogen mineralization in a coastal montane coniferous forest. *Forest Ecology and Management*, **95**: 253-260.
- Ranger J, Loyer S, Gelhaye D, et al. 2007. Effects of clearcutting of Douglas-fir plantation (*Pseudotsuga menziesii*) on the chemical composition of soil solutions and on the leaching of DOC and ions in drainage waters. *Annals of Forest Science*, **64**: 183-200.
- Turner MG, Smithwick EAH, Metzger KL, et al. 2007. Inorganic nitrogen availability after severe stand-replacing fire in the Greater Yellowstone ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104**: 4782-4789.
- Vitousek PM, Gosz JR, Grier CC, et al. 1979. Nitrate losses from disturbed ecosystems. *Science*, **204**: 469-474.

作者简介 丁九敏,女,1973年生,博士研究生。主要从事土壤生态学方面的研究。E-mail: djmlrb@sina.com

责任编辑 魏中青