

杉木人工林凋落物量对氮沉降增加的初期响应^{*}

樊后保^{1,2} 刘文飞^{1,2,*} 裘秀群³ 徐雷² 王强⁴ 陈秋凤²

(¹ 南昌工程学院, 南昌 330029; ² 福建农林大学, 福州 350002; ³ 安徽工程科技学院, 安徽芜湖 241000;

⁴ 萍乡高等专科学校, 江西萍乡 337055)

摘要 通过野外模拟试验, 研究了杉木人工林凋落物对氮沉降增加的初期响应。试验设计为 4 种处理, 分别为 N_0 ($0 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 对照), N_1 ($60 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), N_2 ($120 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), N_3 ($240 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 3 次重复。通过 2 年监测发现, 对照样地的年凋落量为 $2\,427.51 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 而经 N_1 、 N_2 、 N_3 处理后, 其年凋落物量分别为 $2\,238.10$ 、 $2\,286.66$ 和 $2\,599.50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。表明高氮(N_3)处理显著增加了杉木林凋落物量($P < 0.05$), 而中低氮处理(N_1 、 N_2)没有显著影响。各处理的总凋落物量表现出明显的季节动态, 在 2、5 和 7 月出现 3 个比较明显的峰值。在凋落物的组成中, 落叶占总凋落量的 70.49%~73.67%, 其次分别为落枝(19.38%~20.39%)、碎屑物(4.98%~7.70%)、落果(1.11%~2.16%)和树皮(0.29%~0.33%)。LSD 多重比较显示, N_3 处理对落叶和落果产生显著影响, 对其它组分的影响不明显。

关键词 氮沉降; 杉木人工林; 凋落物; 季节动态

中图分类号 Q948 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2007)09-1335-04

Responses of litterfall production in Chinese fir plantation to increased nitrogen deposition. FAN Hou-bao^{1,2}, LIU Wen-fei^{1,2,*}, QIU Xiu-qun³, XU Lei², WANG Qiang⁴, CHEN Qiu-feng² (¹ Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330029, China; ² Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 353002, China; ³ Anhui University of Technology and Science, Wuhu 241000, Anhui, China; ⁴ Pingxiang College, Pingxiang 337055, Jiangxi, China). *Chinese Journal of Ecology* 2007 26(9):1335-1338.

Abstract: A field simulated test was conducted to study the effects of nitrogen deposition on the litterfall production of Chinese fir plantation. Treatments were designed as N_0 ($0 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), N_1 ($60 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), N_2 ($120 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) and N_3 ($240 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), with three replicates in each treatment. Two years observation showed in treatments N_1 , N_2 and N_3 , the annual litterfall production was $2\,238.10$, $2\,286.66$ and $2\,599.50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively, in contrast to $2\,427.51 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in the control (N_0). High N deposition (N_3) increased the litterfall production significantly, while low-to-medium N loads (N_1 and N_2) had no obvious effects on it. The monthly litterfall production in all treatments showed similar seasonal dynamics, with three peaks occurring in February, May and July, respectively. In the litterfalls, fallen leaf accounted for 70.49%–73.67% of the total, followed by branch (19.38%–20.39%), debris (4.98%–7.70%), fruit (1.11%–2.16%), and bark (0.29%–0.33%). Treatment N_3 had significant effects on the amount of fallen leaves and fruits, but less effects on other litterfall components.

Key words: nitrogen deposition; Chinese fir plantation; litterfall; seasonal dynamics.

* 国家自然科学基金项目(30370259)、教育部留学回国人员科研启动基金项目和福建省自然科学基金重点资助项目(B0320001)。

* 通讯作者 E-mail: liuwf729@126.com

收稿日期: 2006-10-31 接受日期: 2007-05-09

1 引 言

自 Nihlgård(1985)首次提出氮沉降对森林生态系统的危害以来 ,这一课题在欧美已成为当今酸沉降研究领域的一个热点问题 ,并开展了大量的研究 (Boxman *et al.* ,1998 ;Emmett *et al.* ,1998 ;Wright & Rasmussen ,1998 ;Magill *et al.* ,2000)。然而 ,在热带和亚热带地区 ,这方面的研究还处在起步阶段(李德军等 2003 ,樊后保和黄玉梓 2006)。森林凋落物是森林植物在其生长发育过程中的新陈代谢产物 ,是森林生态系统能量流的一个非常重要的参数 ,其大小影响净初级生产力的比例。森林凋落物流也是森林生态系统养分循环中的一个重要过程 ,对养分归还和土壤生物的生存起着显著的作用(Kimmins , 1987 ,林波等 2004)。因此 ,探讨森林凋落物对全球氮沉降的响应特征和规律 ,对陆地生态系统的生物地球化学循环具有十分重要的意义。

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方重要的用材树种之一 ,自然分布和人工栽培较广 ,是中国亚热带典型的森林生态系统。因此 ,在氮沉降全球化背景下 ,对杉木人工林进行模拟氮沉降研究 ,可以弥补中国亚热带地区关于森林生态系统对氮沉降响应特征和机制的研究的不足 ,为我国乃至亚热带地区进一步开展氮沉降研究打下基础 ,为杉木林的可持续经营提供理论指导。

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

试验地设在福建三明沙县官庄国有林场 ,位于 117°43'29"E 26°30'47"N。属中亚热带季风气候 ,四季气温温暖适中 ,日照充足 ,年平均气温 18.8 ℃ ~ 19.6 ℃ ,年平均降水量 1 606 ~ 1 650 mm ,无霜期 271 d。实验林设置在该林场的白溪工区 21 林班 8 小班南坡上 ,平均海拔 200 m 左右 ,土壤为山地红壤。试验林为 1992 年营造的杉木人工林 ,面积为 6

hm²。林下植被稀疏 ,以五节芒(*Miscanthus floridulus*)、芒萁(*Dicranopteris olichotoma*)、蕨类(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)等为主 ,盖度在 3% ~ 5%。2003 年 12 月底在实验地建立 15 块 20 m × 20 m 的固定样地 ,并进行了本底值调查(表 1)。

2.2 研究方法

2.2.1 实验设计 在所设置的样地内进行模拟氮沉降处理 ,分 4 种水平 ,分别为 N₀(对照)、N₁(60 kg N · hm⁻² · a⁻¹)、N₂(120 kg N · hm⁻² · a⁻¹)、N₃(240 kg N · hm⁻² · a⁻¹) ,每处理重复 3 次。使用 CO(NH₂)₂ 作为氮源 ,2004 年 1 月开始 ,每月以溶液的形式给样地喷洒。氮用量水平的确定参照了国内外同类研究、当地的氮沉降量以及杉木对氮的年需求量。

2.2.2 凋落物收集方法 在多样地内随机设置 10 个 1 m × 1 m 的凋落物收集器 ,定期(每月底)收集落在收集器上的凋落物 ,装入塑料袋带回实验室 ,区分落叶、落枝、树皮、落果(花、果实、种子等)及其它碎屑物(包括昆虫残体与粪便及鸟类粪便等)等组分 ,在 80 ℃ 恒温条件下烘干 48 h 后称量。收集时间从 2004 年 1 月开始至 2005 年 12 月结束。

3 结果与分析

3.1 凋落物量对氮沉降的初步响应

经过不同的氮沉降处理(N₀、N₁、N₂、N₃)后 ,杉木人工林的年凋落量分别为 2 427.51、2 238.10、2 286.66 和 2 599.50 kg · hm⁻²(表 2)。研究表明 ,高氮处理(N₃)显著增加了森林凋落物量(*P* = 0.034) ,而中氮(N₂)和低氮(N₁)则表现出一定的抑制作用 ,但未达到统计上的显著差异。

在凋落物的组成中(表 2) ,落叶占总凋落量的 70.49% ~ 73.67% ,其次分别为落枝(19.38% ~ 20.39%)、碎屑物(4.98% ~ 7.70%)、落果(1.11% ~ 2.16%)和树皮(0.29% ~ 0.33%)。

对各组分凋落量的 LSD 检验表明 ,N₃ 处理表现

表 1 各处理样地的主要林分和立地特征本底值
Tab.1 Background values of the stand and site characteristics in the nitrogen-loaded plots

处理水平	林分特征				立地特征			
	林龄 (a)	密度 (株 · hm ⁻²)	平均胸径 (cm)	平均树高 (m)	平均坡度 (°)	土壤容重 (g · cm ⁻³)	土壤有机质 (g · kg ⁻¹)	土壤 pH
N ₀	12	1717	16.1	11.8	32.5	1.06	19.23	4.59
N ₁	12	1633	16.0	12.2	31.5	1.06	17.31	4.76
N ₂	12	1683	16.3	12.2	29.8	1.05	18.88	4.65
N ₃	12	1625	16.0	12.1	30.8	1.05	18.14	4.71

土壤数据均指 0 ~ 60 cm 土层的平均值。

表 2 杉木人工林不同氮处理凋落物的组成及百分比

Tab.2 Litter composition and percentage in subtropical Chinese fir plantation under different nitrogen treatments

处理	落叶		落枝		树皮		落果		碎屑物		总计 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
	凋落量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	百分比 (%)	凋落量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	百分比 (%)	凋落量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	百分比 (%)	凋落量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	百分比 (%)	凋落量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	百分比 (%)	
N ₀	1788.07	73.67	484.30	19.95	7.47	0.31	26.87	1.11	120.80	4.98	2427.51
N ₁	1577.70	70.49	434.30	19.40	7.30	0.33	46.57	2.08	172.23	7.70	2238.10
N ₂	1675.83	73.29	443.43	19.39	7.30	0.32	33.77	1.48	126.33	5.52	2286.66
N ₃	1853.67	71.31	530.03	20.39	7.40	0.28	56.07	2.16	152.33	5.86	2599.50
平均	1723.82	72.18	473.02	19.81	7.37	0.32	40.82	1.71	142.92	5.98	2387.94

出增加叶凋落量的作用 ,并且 N₃ 与 N₀、N₁、N₂ 处理之间的差异均达到显著水平($P < 0.05$) 见表 3)。N₁ 和 N₂ 表现抑制作用 ,但处理间差异不显著。N₃ 处理表现增加枝凋落量的作用 ,N₁ 和 N₂ 均表现抑制作用 ,但各处理间差异不显著。落果量的大小顺序为 N₃ > N₁ > N₂ > N₀ ,N₁、N₂、N₃ 处理均表现增加果凋落量的作用 ,并且 N₃ 与 N₀、N₂ 处理差异显著($P < 0.05$)。对于碎屑物和树皮量 ,各处理之间的差异均不显著。

表 3 各组分年凋落量统计分析

Tab.3 Statistical results of the litterfall components under different nitrogen treatments

处理	N ₃	N ₂	N ₁	N ₀
叶	N ₃	0.0386 *	0.0231 *	0.0457 *
	N ₂	177.84	0.7250	0.6940
	N ₁	275.97	98.13	0.4151
	N ₀	65.60	-112.24	-210.37
	N ₃		0.2018	0.3508
枝	N ₂	86.60	0.6144	0.9355
	N ₁	95.73	9.13	0.5216
	N ₀	45.73	-40.87	-50.00
	N ₃		0.4137	0.9387
皮	N ₂	0.10	0.1224	0.3025
	N ₁	0.10	0.00	0.8530
	N ₀	-0.07	-0.17	-0.17
	N ₃		0.0152 *	0.3847
果	N ₂	22.30	0.2720	0.4626
	N ₁	9.50	-12.80	0.1680
	N ₀	29.20	6.90	19.70
	N ₃		0.3542	0.8056
碎屑物	N ₂	26.00	0.5735	0.7762
	N ₁	-19.90	-45.90	0.5241
	N ₀	31.53	5.53	51.43

下三角为均值差 ,上三角为显著水平(* : $P < 0.05$; * * : $P < 0.01$) ,下同。

3.2 凋落物量的季节动态

从图 1 可见 4 个不同的氮处理中 ,其月凋落量表现出比较明显的季节动态 ,在 1 年中的 2、5、7 月出现 3 个比较明显的峰值。N₀、N₂ 和 N₃ 均在 2 月份凋落物量达到最大 ,而 N₁ 的凋落物量的最大值则出现在 7 月。

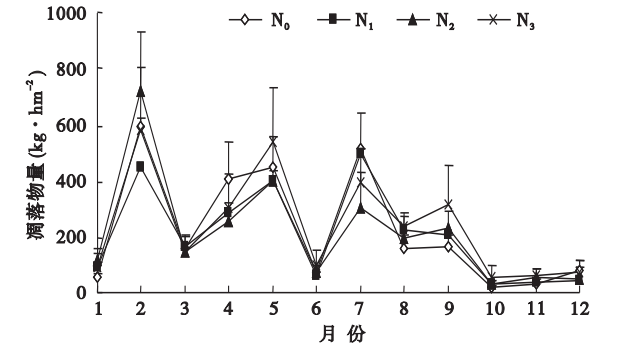


图 1 各处理凋落物量月变化动态

Fig.1 Monthly dynamics of the litterfall under different nitrogen treatments

对各月凋落量的进一步分析显示 ,在 1 年中的 2 月份 ,N₂ 与 N₁、N₃ 处理差异达到显著水平($P < 0.05$) 9 月份 ,凋落量在 N₀ 和 N₃ 处理之间的差异达到显著水平($P < 0.05$) 见表 4)。其它月份处理之间的差异均不显著。叶的年凋落物量动态与凋落总量的变化趋势比较吻合 ,证明叶的凋落物量在一定程度上主导着杉木人工林的凋落物总量。

表 4 各处理间 2、9 月凋落量的 LSD 多重比较

Tab.4 LSD comparisons for the monthly litterfall in February and September among different nitrogen treatments

月份	处理	N ₃	N ₂	N ₁	N ₀
2	N ₃		0.0136 *	0.6769	0.1063
	N ₂	-128.32		0.0283 *	0.2521
	N ₁	119.35	247.67		0.2081
	N ₀	-10.78	117.54	-130.13	
9	N ₃		0.1447	0.0927	0.0398 *
	N ₂	126.07		0.7875	0.4533
	N ₁	148.13	22.07		0.6257
	N ₀	188.23	62.17	40.1	

4 讨 论

通过 2 年的观测显示 ,高氮处理(N₃)对凋落物量产生明显的促进作用。原因可能是 ,氮沉降一定程度上会增加土壤有效氮水平 ,因而氮沉降率的增

加在一定时间内会促进植物生产力,常见的例子就是林业经营上通过施加氮肥来促进林木生长(Tamm, 1991)。也有实验证明,N沉降的临界点在 $10 \sim 25 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 范围内。当生态系统处在氮饱和状态,也就是从大气干湿沉降输入生态系统的氮超出植物和微生物等的需求氮的临界点时,氮沉降就会降低生产力(Aber *et al.*, 1998)。本实验所采用的高、中、低氮处理的用氮量均远超过此临界值,这可能造成短期内含氮量高的处理增加森林生产力,从而导致含氮量高的处理凋落量相应增加。随着时间的推移,当氮沉降超出植物和微生物所需氮的临界值时,又会表现抑制作用。另外,自然因素对凋落物干扰也比较大,因为凋落物量与纬度、海拔、气温、降水量、土壤等密切相关(Dray & Gorham, 1964; Kikuzawa *et al.*, 1977; 程伯容等, 1987; Reiners & Lang, 1987; Fyles & Fyles, 1993)。

在4个不同的氮处理中,其月凋落量表现出比较明显的季节动态,在1年中出现3个明显的峰值。王凤友(1989)认为,多数森林,特别是常绿森林,其月凋落量的季节动态模式是双峰型。在研究亚热带常绿阔叶林峰期产生的原因时,有学者推断雨季初期植物换叶和雨季末期台风的影响是主要因素(翁轰等, 1993)。本实验所在地受台风影响频繁,根据凋落物收集时所记录的天气情况,2、5、7月雨水比较多,在5月和7月更是有强台风的影响,这也许是选成月凋落物动态呈三峰型的原因。

N_0 、 N_2 、 N_3 均在2月份凋落物量达到最大,而 N_1 的凋落物量的最大值则出现在7月。其原因是杉木人工林的凋落物动态受树种生物学和环境的影响比较大。高氮处理满足了杉木人工林对氮素的需求,促进了杉木的营养生长,自然更新速度加快,从而引起高氮处理凋落量峰值出现较其它几个处理要早。这与俞新妥(1988)研究10~12年生林分施氮肥所得结果有相似之处。

氮沉降对森林生态系统的影响是一个长期的过程,本试验只是对2年的数据进行分析,揭示了凋落物量对氮沉降的初步响应。因此,要确切了解氮沉降对亚热带森林凋落物的影响还需进行长期的定位监测。

参考文献

程伯容,丁桂芳,许广山,等. 1987. 长白山红松阔叶林的生物养分循环. 土壤学报, 24(2): 160-169.

- 樊后保, 黄玉梓. 2006. 陆地生态系统氮饱和对植物影响的生理生态机制. 植物生理与分子生物学学报, 32(4): 395-402.
- 李德军, 莫江明, 方运霆, 等. 2005. 模拟氮沉降对南亚热带两种乔木幼苗生物量及其分配的影响. 植物生态学报, 29(4): 543-549.
- 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 2004. 森林凋落物研究进展. 生态学杂志, 23(1): 60-64.
- 王凤友. 1989. 森林凋落量研究综述. 生态学进展, 6(2): 82-89.
- 翁轰, 李志安, 屠梦照, 等. 1993. 鼎湖山森林凋落物量及营养元素含量研究. 植物生态学与地植物学学报, 17(4): 299-304.
- 俞新妥. 1988. 中国杉木研究. 福建林学院学报, 8(3): 203-220.
- Aber J, McDowell W, Nadelhoffer K, *et al.* 1998. Nitrogen saturation in Northern forest ecosystems: Hypotheses revisited. *Bioscience*, 48: 921-934.
- Boxman AW, Blanck K, Brandrud TE, *et al.* 1998. Vegetation and soil biota response to experimentally-changed nitrogen inputs in coniferous forest ecosystems of the NITREX project. *Forest Ecology and Management*, 101: 65-79.
- Dray JR, Gorham E. 1964. Litter production in forests of the world. *Advance in Ecological Research*, 2: 101-157.
- Emmett BA, Reynolds B, Silgram M, *et al.* 1998. The consequences of chronic nitrogen additions on N cycling and soil water chemistry in a Sitka spruce stand, North Wales. *Forest Ecology and Management*, 101: 165-175.
- Fyles JW, Fyles IH. 1993. Interaction of Douglas-fir with red alder and salal foliage litter during decomposition. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 358-361.
- Kikuzawa K, Asai T, Fukuchi M. 1977. Leaf-litter production in a plantation of *Alnus inokumae*. *Journal of Ecology*, 72: 993-999.
- Kimmins JP. 1987. *Forest Ecology*. New York: Macmillan Publishing Company: 31-129.
- Magill AH, Aber JD, Berntson GM, *et al.* 2000. Long-term nitrogen additions and nitrogen saturation in two temperate forests. *Ecosystems*, 3: 238-253.
- Nihlgård B. 1985. The ammonium hypothesis—an additional explanation to the forest dieback in Europe. *Ambio*, 14: 2-8.
- Reiners WA, Lang GE. 1987. Changes in litterfall along a gradient in altitude. *Journal of Ecology*, 75: 629-638.
- Tamm CO. 1991. Nitrogen in Terrestrial Ecosystems: Questions of Productivity, Vegetational Changes, and Ecosystem Stability. Berlin: Springer-Verlag: 50-97.
- Wright RF, Rasmussen L. 1998. Introduction to the NITREX and EXMAN projects. *Forest Ecology and Management*, 101: 1-7.

作者简介 樊后保,男,1965年生,博士,教授。主要从事酸沉降与森林生态系统养分循环研究,发表论文70余篇。
E-mail: hbfan@nit.edu.cn
责任编辑 王伟