

长白山北坡苔藓红松暗针叶林倒木分解及其养分含量

杨丽韞¹, 代力民^{2*}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

摘要:对长白山北坡苔藓红松暗针叶林中云冷杉倒木的分解及其养分元素的含量进行了研究。研究表明,云冷杉倒木的腐烂分解过程符合单项指数衰减模型,冷杉倒木的分解常数为 $0.0168/a (r^2=0.9483)$,云杉倒木为 $0.0150/a (r^2=0.8895)$ 。对云冷杉倒木中养分含量进行测定可得:C 平均含量为 $18876.90\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,N 为 $299.00\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,P 为 $2.50\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,K 为 $40.49\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,Ca 为 $44.12\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,Mg 为 $12.50\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在云冷杉倒木腐烂分解过程中 C 的百分含量会逐渐下降,N 和 P 的含量会逐渐增高。K、Ca 和 Mg 的含量则没有明显的变化趋势。

关键词:长白山;苔藓红松暗针叶林;倒木分解;养分含量

The Decomposition and Nutrient Content of Fallen Woods in the Moss-*Pinus koraiensis* Dark-Conifer Forest at North Slope of Changbai Mountain

YANG Li-Yun¹, DAI Li-Min² (1. *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources, CAS, Beijing 100101, China*; 2. *Institute of Shenyang Applied Ecology, CAS, Shenyang 110015, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 185~189.

Abstract: This paper reported the decomposition and nutrient content of fallen woods in the moss-*Pinus koraiensis* dark-conifer forest at North Slope of Changbai Mountain. Result shows that monomial exponential attenuation model can be used to simulate decay process of fallen woods. The decomposition constant of *Abies* fallen wood is $0.0168/a (r^2=0.9483)$, while fallen wood of *Picea* is $0.0150/a (r^2=0.8895)$. The nutrient content was mensurated with average content of C at $18876.90\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, N at $299.00\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P at $2.50\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K at $40.49\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, Ca at $44.12\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, and Mg at $12.50\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. The content of C decreases while N and P increase during the decay process. However, there are no significant trend changes in contents of K, Ca and Mg.

Key words: Changbai Mountain; the moss-*Pinus koraiensis* dark-conifer forest; fallen woods decomposition; nutrient content

文章编号:1000-0933(2002)02-0185-05 中图分类号:Q948, S718.5 文献标识码:A

在森林生态系统中,倒木贮藏着大量的碳素和养分物质,这些养分物质在林地上具有与长效化肥类似的功能,它们以不同的速率逐渐分解释放。这对长期维持林地较高的生产力,采伐后森林的恢复,林分的天然更新,均具有重要意义^[7]。近年来的研究表明,倒木对养分具有贮存和缓慢释放的特点,因此有利于森林生产力的保持^[6]。美国对全球 8 个不同类型森林生态系统的研究表明,无论是系统中倒木的生物量,还是

基金项目:中国科学院重大资助项目(KZ951-A1-301);中国科学院特别支持资助项目(KZ957-04)

* 通讯联系人

收稿日期:2000-11-04; 修订日期:2001-07-20

作者简介:杨丽韞(1974~),女,山西人,博士。主要从事森林生态研究。

其中 C、N、P 含量,都在系统中占有不小比例^[19]。我国长白山苔藓红松暗针叶林内有大量倒木存在,这些倒木对保持系统物质循环平衡和林木的更新有重要作用。目前有关长白山暗针叶林中倒木养分的研究还未见报道,因此本研究对长白山苔藓红松暗针叶林中倒木的分解、倒木中的养分含量及其在倒木腐烂过程的变化进行了详细的调查。通过本项研究,不仅可以使人们认识到倒木在森林生态系统中存在的重要性,而且也为进一步开展倒木其它方面的研究奠定一定的基础。

1 调查地点与研究方法

1.1 调查地点

本项研究地点位于我国东北地区吉林省长白山自然保护区内的长白山北坡苔藓红松暗针叶林内。苔藓红松云冷杉林,其经纬度为 42° 和 128° ,海拔高度为 1270m。地形平缓,母质为冲击性火山灰沙,为轻度灰化的暗棕色森林土。年降雨量为 782.4~967.3mm,空气湿度大。立木以鱼鳞云杉(*Picea jezoensis*)和臭冷杉(*Abies nephrolepis*)、红松(*Pinus koraiensis*)和长白落叶松(*Larix olgensis*)为主,有时混有散生的长白赤松(*Pinus sylvestriiformis*)^[1,5]。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查 在 1998 年 6~8 月份在海拔 1260m 随机设立样方 $40\text{m} \times 40\text{m}$ 3 块。对样方中每一株倒木的长度、胸径、大小头直径、倒木着地状况、腐烂状况(木材颜色、纹理、软硬等)、着生的苔藓状况(高度、盖度、种类)、树皮状况、枝桠状况($<3\text{cm}$ 的小枝是否存在)、所着生的草本、木本植物的种类、数量、高度等进行调查记载。据这些指标,在实地将倒木进行初步的腐烂级划分。每一腐烂级采倒木样品 4~5 个,对于没有完全腐烂的倒木,用钢锯采其截面的圆盘;对已腐朽的倒木,采集其样品装入布袋,共采样品 54 个。

1.2.2 估计分解年龄 在划分腐烂级的基础上综合以下方法对倒木的分解年龄进行估计:当树倒发生时,与倒木相邻的活立木往往要被它砸伤,并且留下疤痕。因此,可以根据相邻树木的疤痕来查定某一株倒木的死亡年代;在湿润气候条件下,倒木发生以后,经过一段时期,它的上面就会生长出一些小树来。为此,可以根据它上面这些小树的年龄作为这些倒木从死亡到现在的期限的估计值;对于同龄发生但在竞争中死亡的个体,可以根据活立木和死亡木的年龄之差来判定死立木的死亡年度;可以根据相邻树木的年轮来查定某一株倒木的分解年龄。主要由于林木倒地形成林窗后,为其周围的树木提供了较充足的水分和光照,使其生长环境变好,树木的生长就会加速,这些变化必然直接反映到其生长年轮上,即生长年轮较倒木未形成时有明显的加宽现象。

1.2.3 样品处理与分析 倒木的密度测定 对倒木的样品先用排水法求体积,然后烘干后称重,用公式 $\rho = G/V$ 即可求的倒木的密度,其中 ρ 为所测倒木密度, G 为生物量, V 为体积。

倒木材积(V) 根据倒木长度(l)和大小头直径(d_1, d_2),由截顶体的一般求积式 $V = \pi l(d_1^2 + d_2^2)/8$ 来计算倒木的材积。

倒木养分的测定 对倒木密度和分解年龄用单项指数模型进行分析后,选取同指数曲线偏离小的样品。每个腐烂级选 3 个样品,云冷杉倒木各选 15 个样品。对这些样品中分别测定全 C、全 N、全 P、K、Ca 和 Mg 的含量。全 C 用油浴加热- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 容量法测定;全 N 用 CuSO_4 - K_2SO_4 硫酸消化法,然后蒸馏测定;全 P 用酸溶-钼锑抗比色法测定;K 用火焰光度法测定;Ca 和 Mg 用原子吸收光谱仪测定。测出每一腐烂级倒木样品养分含量后,分不同树种和腐烂级对其进行求平均数计算。

建立模型 对不同海拔高度的云冷杉倒木的分解模型,用密度和分解年龄对其进行模拟。

2 结果与分析

2.1 倒木的分解

倒木分解是在外力的物理粉碎和微生物的化学降解共同作用下进行的,是非常复杂的综合过程。在各种外力和生物的共同作用下,倒木在分解过程中密度会逐渐下降,因此可用倒木密度随分解时间的变化,定量的计算倒木的分解速率^[12,14]。研究倒木分解采用的数学模型有指数衰减模型、线性模型、渐进线模型、二次曲线模型和幂函数模型^[14]。但指数衰减模型,特别是单项指数衰减模型,比较符合倒木分解进程^[18],在倒木的研究中被广泛用来估测倒木的分解速率。

根据对倒木密度的求算和倒木分解年龄的分析,用单项指数衰减模型对云冷杉倒木的密度-分解年龄之间的关系进行模拟(见图1和图2)。从图中可得:冷杉倒木的分解常数为 $0.0168/a(r^2=0.9483)$,云杉倒木为 $0.0150/a(r^2=0.8895)$ 。冷杉倒木的分解速度要较大于云杉倒木,这主要是由不同树种的材质决定的。通过对云冷杉倒木分解的模型进行求算可以得出冷杉倒木完全分解需要548a,云杉倒木完全分解则需要614a。

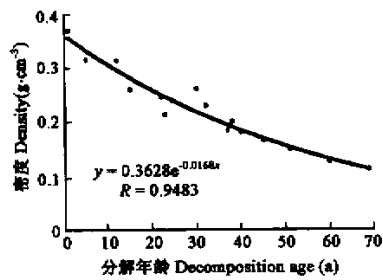


图1 冷杉倒木分解图

Fig. 1 Decomposition of *Abies* fallen woody

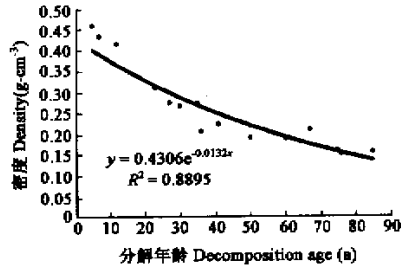


图2 云杉倒木分解图

Fig. 2 Decomposition of *Picea* fallen woods

2.2 云冷杉倒木中C和其它养分百分含量在不同腐烂级的变化状况

C在倒木中是比较稳定的,占干重的40%~50%,云冷杉倒木中C的含量差异不大(表1)。但从表中可以看出,在倒木分解过程中,倒木中C的含量明显下降。特别在倒木分解的第Ⅴ阶段,倒木中C的含量显著下降。

倒木中N素的多少,直接影响倒木的分解速度,而且对于维持整个生态系统的功能,也是极为重要的^[17]。云冷杉倒木中N素的含量总的趋势是增加的(表1),这个结论同Grier^[13]、Lang and Forman^[15]、Lambert^[16]、Foster^[11]等研究其它倒木分解过程中N素的变化规律是一致的。N素在倒木分解过程中的含量逐渐增加,这主要由于(1)降雨增加了对倒木N的输入;(2)微生物的分解和昆虫的侵入和寄生。一些真菌可以借助菌丝,把林地中一些N素转移到倒木中;另外倒木作为一些昆虫的生存场所,这些昆虫的粪便也可使倒木中N的聚集。(3)倒木中某些细菌的固氮作用^[8,9,14]。

表1 云冷杉倒木不同腐烂级养分的百分含量

Table 1 Nutrient percent of different decay classes in *Picea* and *Abies* fallen wood

树种	腐烂级	C	N	P	K	Ca	Mg	C:N	
Species	Decay class	(%)							Ratio
冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	I	48.7100	0.6320	0.0030	0.1190	0.1632	0.0155	77.07	
	II	48.3650	0.7227	0.0055	0.1036	0.1011	0.0184	66.92	
	III	47.7050	0.7745	0.0053	0.1230	0.2465	0.0185	61.59	
	IV	46.9150	0.7280	0.0105	0.0765	0.0842	0.0112	64.44	
	V	45.6950	1.1795	0.0225	0.1280	0.0858	0.0152	38.74	
云杉 <i>Picea jezoensis</i>	I	49.2900	0.6440	0.0030	0.0765	0.0388	0.0036	76.54	
	II	48.8150	0.6598	0.0030	0.0813	0.0523	0.0091	73.98	
	III	48.4000	0.7735	0.0045	0.1258	0.1807	0.0358	62.57	
	IV	48.2450	0.9800	0.0058	0.1180	0.0590	0.1123	49.23	
	V	44.8600	1.1668	0.0393	0.1600	0.2662	0.0859	38.45	

倒木中C/N比值在倒木分解过程中是在不断下降的(表1),这表明倒木中C的含量随着倒木的分解逐渐下降,而N的含量则相应增多。倒木中C/N的下降不表明倒木由难分解物质向易分解物质过渡,因为在倒木分解过程中易分解物质首先被分解掉,到分解后期倒木中难分解物质累积,倒木分解缓慢。云冷杉倒木在分解的第Ⅴ阶段,C:N为38.45~38.74,同林下土壤表层C:N值 $26.10^{[2]}$ 相比,还是较高的。

从表 1 还可以看出,云冷杉倒木中 P 的含量总趋势为增加的,在第 V 腐烂级倒木中 P 的含量明显增加。这个结论同 Fahey(1983)^[10]研究美国黑松(*Pinus contorta*)分解过程中 P 的变化规律相一致。P 是一种不易溶脱的元素,因此淋溶作用不会使倒木中的 P 损失许多,这样就有利于倒木中 P 的积累。

云冷杉倒木中 K、Ca 和 Mg 的含量没有明显的变化趋势,这除了和元素本身的性质有关外,还与树种、倒木上生物的活动、立地环境和雨水的淋溶作用等因素有关。

2.3 云冷杉倒木的贮量及其养分含量

根据测定的倒木不同腐烂级的密度和倒木的体积即可求出倒木的生物量。经测算在长白山暗针叶林中,云冷杉倒木的平均生物量为 $39.15\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,占整个生态系统生物量的 13.73%。倒木贮量在各腐烂级的分布见表 2。在林地中由于处于腐烂级中度的倒木数量较多,因此中度腐烂级的倒木生物量也较大。

在倒木中含有大量的 C 和其它养分元素,在其分解过程中会逐渐归还林地,参与森林的生物地球化学循环。对苔藓红松暗针叶林中云冷杉倒木不同腐烂级的生物量和养分含量进行测定后(表 1,表 2),就可求出云冷杉倒木中 C 和其它养分的贮量(表 3)。从表中可得:林地倒木中 C 的平均含量为 $18876.90\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,占苔藓红松暗针叶林整个生态系统生物量的 6.62%。倒木中这些 C 素,在倒木逐渐腐烂分解过程中大部分将以 CO_2 的形式归还于大气,参与地球化学的气体循环。

表 2 不同腐烂级倒木的平均生物量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
Table 2 Fallen woods' biomass of different decay classes

树种 Species	腐烂级 Decay class				
	V	I	II	III	IV
冷杉 ^①	0.75	0.45	2.26	4.44	0.44
云杉 ^②	1.96	12.21	10.83	4.60	1.21

①*Abies nephrolepis* ②*Picea jezoensis*

表 3 云冷杉倒木中的养分贮量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 3 Nutrient storage in *Picea* and *Abies* fallen wood

树种 Specie	腐烂级 Decay class	C	N	P	K	Ca	Mg
冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	I	364.80	4.73	2.25E-02	0.89	1.22	0.12
	II	217.20	3.20	2.47E-02	0.50	0.50	0.10
	III	1079.80	17.50	1.00E-01	2.80	5.60	0.40
	IV	2082.10	32.30	5.00E-01	3.40	3.70	0.50
	V	200.60	5.20	1.00E-01	0.60	0.40	0.10
云杉 <i>Picea jezoensis</i>	I	967.60	12.60	1.00E-01	1.50	0.80	0.10
	II	5958.00	80.50	4.00E-01	9.90	6.40	1.10
	III	5244.00	83.80	5.00E-01	13.60	19.60	3.90
	IV	2218.80	45.10	3.00E-01	5.40	2.70	5.20
	V	544.00	14.10	5.00E-01	1.90	3.20	1.00
合计 Total		18876.90	299.03	2.50	40.49	44.12	12.52

云冷杉倒木中 N 的平均贮量为 $299.00\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 3),同其它林型相比,长白山苔藓红松暗针叶林中 N 的贮量比较高。代力民^[4]测得长白山红松针阔混交林中,红松和紫椴倒木中 N 的贮量仅为 $26.83\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。长白山苔藓红松暗针叶林中 N 的贮量较高,主要是由于暗针叶林中湿度较高,比较有利于倒木上固 N 真菌生存。

云冷杉倒木中 P 的平均贮量为 $2.50\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,K 的平均贮量为 $40.49\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,Ca 的平均贮量为 $44.12\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,Mg 的平均贮量为 $12.50\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。这些元素的贮量同长白山红松针阔混交林中倒木元素的贮量相比,其中 P 的贮量偏低,K 的贮量则相对偏高。

长白山苔藓红松暗针叶林中凋落物养分含量 P 为 $5.10\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,K 为 $3.91\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,Ca 为 $43.3\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,Mg 为 $18.0\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[3]。比较可得,倒木中除了 P 的含量比凋落物中含量较低外,其它养分元素的含量均高于凋落物中的养分含量或其含量相差不大。可见在长白山苔藓红松暗针叶林中倒木为林地主要的养分库,对林内养分的循环有重要的影响。

4 结论 万方数据

4.1 倒木的分解比较符合单项指数衰减模型,对云冷杉倒木的分解进行模拟后可得出,冷杉倒木的分解

常数为 $0.0168/a$ ($r^2=0.9483$), 云杉倒木为 $0.0150/a$ ($r^2=0.8895$)。冷杉倒木的分解速度要较大于云杉倒木, 可见树种影响倒木的分解速度。

4.2 云冷杉倒木中 C 的百分含量随着其腐烂分解会逐渐下降, N 和 P 的含量会逐渐增高。C:N 值会逐渐降低。K、Ca 和 Mg 的含量没有明显的变化趋势, 这除了和元素本身的性质有关外, 还与树种、倒木上生物的活动、立地环境和雨水的淋溶作用等因素有关。

4.3 苔藓红松暗针叶林中云冷杉倒木中贮藏着大量的 C 和其它养分元素。C 平均含量为 $18876.90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, N 为 $299.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P 为 $2.50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K 为 $40.49 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, Ca 为 $44.12 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, Mg 为 $12.50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。随着倒木的分解倒木这些养分元素将逐渐释放到林地, 参与系统的物质循环。

参考文献

- [1] Cheng B R(程伯容), Xu G SH(许广山). The main soil types and their character in nature protected zone of Changbai North Slope. *Research of forest ecosystem*(in Chinese)(森林生态系统研究), 1981, **2**: 196~206.
- [2] Cheng B R(程伯容), Xu G SH(许广山). The litter and its nutrients of the main forest ecosystem in Changbai Mountain. *Research of forest ecosystem*(in Chinese)(森林生态系统研究), 1984, **4**: 19~24.
- [3] Cheng B R(程伯容), Xu G Sh(许广山). The cycle intensity of biology and litter in conifer forest and *Pinus-Koraensis* mixed broad-leaf forest of Changbai Mountain North Slope. *Research of forest ecosystem*(in Chinese)(森林生态系统研究), 1992, **6**: 200~204.
- [4] Dai L M(代力民). The model of decomposition and nutrient content and the nutrient content dynamic process in *Pinus Koratensis* mixed broad-leaf forest. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1994, **14**(supplement): 325~329.
- [5] Wang ZH(王战), Xu ZH B(许振邦). The main forest types and their features of community structure in northern slope of Changbai Mountain. *Research of forest ecosystem*(in Chinese)(森林生态系统研究), 1981, **1**: 25~42.
- [6] Kimmins H. 1995. Translated by Zhu CH Q(朱春全)ed. *The balance mechanism between forest and environment*(in Chinese), Beijing: Chinese Environment Science Press. 1996, 155~164.
- [7] Barber B L and Vanlear D H. Weight loss and nutrient dynamics in decomposing woody loblolly pine logging slash. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, **48**: 906~910.
- [8] Cline S P, Berg A B and Wight H M. Snag characteristics and dynamics in Douglas-fir forests, Western oregon. *J. Wildl. Manage.*, 1980, **44**: 771~786.
- [9] Cornaby B W and Waide J B. Nitrogen fixation in decaying chestnut logs. *Plant soil*, 1973, **39**: 445~448.
- [10] Fabey T J. Nutrient dynamics of aboveground detritus in lodgepole pine (*Pinus contorta* sp. latifolia) ecosystems, Southeastern Wyoming. *Ecol. Monogr.*, 1983, **53**: 51~72.
- [11] Foster J R. Decomposition of red spruce and balsam fir boles in the white Mountains of New Hampshire. *Can. J. For. Res.*, 1982, **12**: 617~626.
- [12] Graham R L, Cranack, K and Mass Jr. Nutrient and decay rate of dead boles in rain forests of Olympic National Park. *Can. J. For. Res.*, 1982, **12**: 511~521.
- [13] Grier C C. A Tsuga heterophylla-Picea sitchensis ecosystem of coastal Oregon; Decomposition and nutrient balances of fallen logs. *Can. J. For. Res.*, 1978, **8**: 198~206.
- [14] Harmon M E. Ecology of Coarse Woody Debris in temperate ecosystems, *Adv. In Ecol. Res.*, 1986, **15**, 133~276.
- [15] Lang G E and Forman R T T. Detritus dynamics in a mature oak forest: Hutchenson Memorial Forest, New Jersey. *Ecology*, 1978, **59**: 580~595.
- [16] Lambert R C, Lang G E and Reiners W A. Loss of mass and chemical change in decaying boles of a subalpine balsam fir forest. *Ecology*, 1980, **61**: 1460~1473.
- [17] Merrill W and Cowling E B. Role of nitrogen in wood deterioration; Amounts and distribution in tree stems. *Can. J. Bot.*, 1966, **44**: 1555~1580.
- [18] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological system. *Ecology*, 1963, **44**: 322~331.
- [19] Rice W D. Woody debris decomposition in the Atchafalaya River Basin of Louisiana Following Hurricane Disturbance. *Soil Sci Soc Amer J.*, 1997, **61**(4): 1264~1274.