

西藏色季拉原始冷杉林死亡木特征研究

罗大庆¹, 郭泉水², 黄 界¹, 潘 刚¹, 辛学兵¹, 郑维列¹

(1. 西藏高原生态研究所, 林芝 860000; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要:通过色季拉原始冷杉林死亡木的研究, 结果表明: 冷杉林死亡木主要由枯立木、拔根倒木、干基折断木和干中折断木 4 种类型构成, 其中干基折断和拔根倒方式形成的倒木是林地死亡木最主要的输入形式; 主林层林木的老龄化和心腐病导致了树势的衰弱, 极易发生折倒, 风害、雪压是诱发立木折倒死亡的直接原因。冷杉林死亡木的现存量为 $111.53\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$; C、N、P、K、Ca、Mg 6 种养分元素的总贮量为 $60442.69\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 原始冷杉林死亡木现存量高、养分贮量高, 是目前国内已知的针叶林类型中贮量最高的。

关键词: 急尖长苞冷杉; 死亡木类型; 现存量; 养分分解; 特征

A character study on the dead wood of primeval *Abies* of Sejila Mountain in Southeastern Tibet

LUO Da-Qing¹, GUO Quan-Shui², HUANG Jie¹, PAN Gang¹, XIN Xue-Bing¹, ZHENG Wei-Lie¹ (1. Research Institute of Plateau Ecology, Linzhi 860000, Tibet; 2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 635~639.

Abstract: The dead wood of primeval *Abies* of Sejila Mountain in Southeastern Tibet was studied by the investigations of the permanent standard plot (100m×100m) and temporary sample plot (20m×30m) as a supplement. The results show that the dead wood is composed mainly of the standing die, the uprooted blown down, the breakage at trunk and the blown down. The main reasons for weakening trees are the old-age and rot disease of trees, and indirect factors to induce tree fallen include strong wind, rain, snow and human interference. Through the neighboring net method for the locating of the dead wood and the data analysis by computer, the distribution pattern diagrams and statistics analysis results illustrate that the blown down, the breakage at trunk and the uprooted blown down distribute random, and the standing die does by the distribute clump. From the diameter analysis of the dead wood, the main component of the dead wood is medium-size diameter wood; according to the component number, the breakage at trunk and uprooted blown down consist of main parts of the dead wood. The current biomass of the dead wood, $111.53\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, is the highest in the known needle-like forest in China. The total storage of 6 kinds of nutrients including C, N, P, K, Ca and Mg is $60442.69\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Among 6 nutrients, C storage approaches the highest, $59788.05\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, and the C percentage is 98.91 % of total nutrient storage, and the sequence of other nutrients is as following: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$. C storage decreases and N and P contents increase gradually by analyzing nutrient contents of different decomposing stages of the dead wood. There is no evidence for other nutrients. The present study is carried out over short period time and the further dynamic study on the dead wood of primeval *Abies* of Sejila Mt. is also needed.

Key words: *Abies georgei* var; types of dead wood; present storage; decompose of nutrient; Character

文章编号: 1000-0933(2004)03-0635-05 中图分类号: Q948 文献标识码: A

基金项目: 国家林业局和西藏自治区科技厅重点资助项目; 国家林业局资助项目 (No. 2001-11)

收稿日期: 2003-05-03; 修订日期: 2003-11-12

作者简介: 罗大庆 (1969~), 男, 重庆市人, 助理研究员, 主要从事森林生态研究工作。E-mail: dqluo0894@163.com

Foundation item: the program of research about forest natural regeneration and the technology of expedite regeneration on alpine coniferous forest of Sejila Mt. In Tibet From State Forestry Administration and Tibet Science and Technology Office; the program of forest ecology and long-term locted ecological research on alpine coniferous forest of Linzhi in Tibet from State Forestry Administration (No. 2001-11)

Received date: 2003-05-03; **Accepted date:** 2003-11-12

Biography: 罗大庆, Assistant professor, main research field: forest ecology. E-mail: dqluo0894@163.com

林木的死亡是森林发育过程的自然结果,在原始森林中,常常存在着大量死亡木(也称粗死木质物,其英文为:Coarse Woody Debris^[1]),这些死亡木是森林生态系统的重要组成部分,它们不仅在森林土壤发育、森林水文功能发挥、林木生长发育所需养分的供给、促进森林更新以及改变林地微环境为动物提供生境等诸多生态学功能方面发挥着积极的作用。而且还是森林生态系统中一个重要的碳库^[2~5]。

近年来有关死亡木的研究越来越引起国内外研究者的重视,美国、加拿大等国在 20 世纪 60 年代就开始了相关的研究,并推动着该领域研究的发展^[1];虽然我国在该方面的研究起步较晚,自 20 世纪 80 年代中期以来,也有一些学者相继对长白山、武夷山、秦岭、哀牢山的不同森林类型中死亡木的贮量、动态和功能进行了研究和评述,取得了一定的进展。目前,西藏在该领域的研究尚属空白。

在西藏的东南部包括雅鲁藏布江中下游及其支流的高山峡谷地带分布着茂密的森林,特别是在 3 700~4 300m 的高海拔地带,由于受到地理条件的限制,至今仍保存着大面积以冷杉属为主要树种的原始林,林分的原始性和结构的完整性使其成为国内外研究森林死亡木难得的良好场所。本文采用群落调查和实验分析方法相结合,定性与定量分析相结合的方法,对西藏冷杉原始林死亡木的输入形式,死亡木的分布格局、结构、现存量以及死亡木的养分贮存和分解状况进行研究,旨在揭示西藏原始冷杉林死亡木的基本特征,为进一步探讨原始林生态系统结构与功能,合理地保护与经营原始森林提供科学依据。

1 研究地区概况

研究地区位于西藏自治区东南部林芝县境内的色季拉(山)。色季拉是念青唐古拉(山)余脉与喜马拉雅山东部向北发展的山系结合部,海拔 2 200~5 300m,面积约 2 300km²。研究地位于东经 94°49',北纬 29°48',海拔高度 3 800 m。森林类型为藓类-冷杉林,优势树种为急尖长苞冷杉(*Abies georgei* var. *Smithii*)。林分郁闭度 0.6~0.8;林下藓类极度发育,最大盖度可达 90%^[6]。林木平均胸径为 50.0cm,优势木胸径达 110cm;平均树高 31.6m,优势木高达 51.6m。树高在 20.0m 以上的活立木密度为 184 N·hm⁻²,林龄在 200a 左右,为保存完好的成过熟的冷杉原始林。

研究地带属亚高山寒温带湿润气候区,年平均气温-0.73℃,最暖月(7 月份)平均气温 9.8℃,最冷月(1 月份)平均气温-13.8℃;年平均日照时数 1150.6h,日照百分率 26.1%;年降水量 1134.1mm;蒸发量 544.0 mm,占全年平均降水的 48%;年平均相对湿度 78%。土壤类型为酸性棕壤,土层平均厚度 60cm,土壤发育程度低,腐殖质化过程不明显。

2 研究方法

2.1 野外调查

调查工作主要是在冷杉林生态系统定位研究的永久固定标准地上进行,标准地面积为 100m×100m,另外在固定标准地附近,设置了面积为 20m×30m 的 11 块辅助样地。在固定标准地上主要采用相邻网格法^[7]进行调查,具体调查步骤和内容包括:在固定标准地上连续划分出 100 个 10m×10m 网格,然后逐个样格分别调查,调查内容主要包括:死亡方式(拔根倒、干基折断、干中折断、立枯),树倒方向,死亡木的长度(高度)和胸径(无法辨认其胸径的则以基径与胸径的关系曲线算得)。划分腐烂等级,倒木和枯立木的腐烂等级是根据死亡木分级系统的三级制^[8]进行划分的,具体标准是:Ⅰ级为死亡 2~3a,树干、树皮和侧枝仍完整的;Ⅱ级为侧枝完全脱落、树皮已脱落或易剥离、木质部外层开始分解的;Ⅲ级为木质部内外均已分解,瘫陷于林地的。根据固定样地和临时样地的调查数据,将死亡木划分为倒木和枯立木两大类,确定各类死亡木不同腐烂等级的平均标准木,按分层取样法,从标准木树干的上、中、下部的中央段分别截取一定体积的样品,现场称重湿后带回实验室以备分析测定。最后,以网格为坐标,给固定标准地的每株死亡木定位,将其坐标数据输入电脑,采用数字化仪和 AutoCAD 软件绘制死亡木格局图,同时利用 SPSS 数理统计软件进行格局分析和检验。

2.2 样品处理与分析

将带回实验室的样品放入烘箱,在 80℃高温下烘干至恒重,求得干鲜比,计算标准木的树干生物量,进而推算林地单位面积的生物量。死亡木养分测定项目包括 C、N、P、K、Ca、Mg 等元素。其中全 C 采用重铬酸甲-硫酸氧化外加热法,全 N 采用凯氏定氮法;全 P 采用钼锑抗比色法;全 K 采用火焰分光光度法;全 Ca、Mg 采用原子吸收分光光度法。

3 结果与分析

3.1 死亡木的输入形式及成因

以往有关森林死亡木的研究,多侧重于林地的倒木。通过的调查发现,在原始冷杉林中,死亡木的输入形式多样,虽然倒木是林地死亡木最主要的输入形式,但并非所有的冷杉树在死后都以倒木的形式输入林地表层,其中还有许多以枯立和干中折断形式存在的死亡木,它们在林地上可以维持很长的站立时间,直至木质部完全分解腐烂后才倒下,这部分死亡木在林地上亦占有相当大的比重。因此,根据色季拉原始冷杉林中死亡木的形态,将其划分为:枯立木、拔根倒木、干基折断木和干中折断木 4 种类型。

万方数据

由于原始冷杉林的乔木树种组成单一,只有急尖长苞冷杉,因而死亡木的组成树种也仅此一种。

在冷杉林中,上述 4 种类型死亡木的死亡原因和形成过程各不相同;枯立木是在没有外力干扰的情况下形成的,是冷杉林木面临个体之间生存竞争和自然稀疏的结果,其死亡现象是逐渐发生的;干基折断和拔根倒木的发生则不同,它们通常是由于外力干扰而引起的突然死亡。在研究地区,外力作用主要有大风、暴雨和积雪。研究地区的冷杉原始林是成过熟的老龄林,主林层林木的老龄化和树干心腐病很容易导致树势衰弱,加上冷杉树种的浅根性,冠层大枝的开张角度较大等生物学因素,以及冷杉林分布地带海拔高,坡度较大,土层薄等恶劣的自然条件,在冬、春季持续的大风和长时间积雪以及夏季强度降雨对树冠施压作用下,极易诱发立木的拔根倒和折倒。干中折断木大多是伴随立木的拔根倒和折倒而发生的。由此可见,原始冷杉林死亡木的发生是生物因子、非生物因子等许多复杂的内因、外因长期交替作用的结果。

3.2 冷杉林死亡木分布格局

冷杉林死亡木的树倒方向总体上是由上坡倒向下坡(见图 1)。对各类型死亡木的分布格局进行统计分析的结果见表 1。从图 1 和表 1 可以看出,在冷杉林的死亡木中,干中折断木、干基折断木、拔根倒木呈随机分布,枯立木呈群团分布。形成这种分布格局的原因在于色季拉原始冷杉林是成过熟林,林分中老龄木和感染心腐病的林木所占比例较大,这部分林木随时都有发生死亡的可能。折倒木的发生往往与外界的随机干扰事件(如:大风、暴雨、降雪)和林木状况有关。这些折倒木大部分是树龄较大,树木高度在林分平均高以上的林木,当外界干扰事件发生以后,它们是主要承受对象。这些林木在林地上的分布是随机的,因此折倒死亡木在林地上的分布格局也呈随机状态。枯立木多发生在林分密度较大的地方,这是冷杉林的自然稀疏现象,由于枯立木的分布主要受林分局部地段活立木密度因素制约,所以其分布也对应的呈群团状态分布。

表 1 死亡木分布格局分析

Table 1 Analysis of distributive patterns of the dead wood					
死亡木类型 Types of dead wood	方差/均值 v/m ratio	X^2	查表 Consult list	分布类型 Distributive types	格局 Pattern
枯立木 Standing die	1.74	0.6920	$X^2(0.05,2)=5.991$	负二项 ^①	群团 Clump
干中折断 Blown down	1.08	0.2353	$X^2(0.05,1)=3.841$	泊松 ^②	随机 Random
干基折断 Breakage at trunk	0.91	0.3011	$X^2(0.05,2)=5.991$	泊松 ^②	随机 Random
拔根倒木 Uprooted blown down	1.18	1.256	$X^2(0.05,2)=5.991$	泊松 ^②	随机 Random

①Negative Binomial Distribution; ② Poisson

3.3 死亡木的径级结构

死亡木的径级结构系指各类型死亡木在不同胸径林木中的株数及其分配比例。在野外调查中发现,大多数死亡木的年龄和长度难以实测,但胸径数据比较容易测得,实际上冷杉林木的胸径与树高及年龄间有较好的相关性^[6],所以,直接采用死亡木的胸径数据进行结构特征分析。具体划分方法是:以胸径 20cm 为径阶划分尺度,将胸径<20cm 的称为小径级木,20~60cm 的称为中径级木,>60cm 的称为大径级木。

图 2 是根据 4 种类型死亡木的胸径数据绘制的直径分布曲线图。从图中可以看出,冷杉林的死亡木,除胸径<10cm 的幼苗和幼树外,在 10~100cm 的各个径阶都有分布,与活立木的胸径分布情况基本一致,说明在原始冷杉林生长发育的各个时期都有死亡木发生。

从死亡木数量在不同径级上的分配情况来看,72%以上的死亡木分布于 20~60 cm 中径阶范围,<20cm 的小径级木数量仅占 1.8%,60cm 以上的大径级木也只占 26.2%。另从各类型死亡木的组成来看也是如此,干基折断木、干中折断木和枯立木多由中径级木组成,小径级和大径级死亡木的组成数量少;拔根倒木的组成也以中径级木居多,大径级木少,没有小径级木。由此表明,原始冷杉林的死亡木主要由中径级木组成。究其原因主要与冷杉林的结构特点及其生物学特性有关,从冷杉树种的胸径与年龄相关性分析,死亡木分布数量最多的 40~60cm 径阶的林木,恰好是处在冷杉林分平均胸径(50cm)和平均年龄(210a)的分布范围内。从林木发育年龄分析,在该时期冷杉林木并未达到成熟衰老的年龄,林木自然死亡的可能性不大;但在调查中发现,90%以上死亡木都染有心腐病。由此推断,冷杉在生长发育接近于林分平均年龄时,是心腐病感染的高峰期,这也是造成林木在这一时期转化为死亡木最多的原因;小径级木多处于生长发育的旺盛阶段,不容易感染心腐病,除少部分被压木

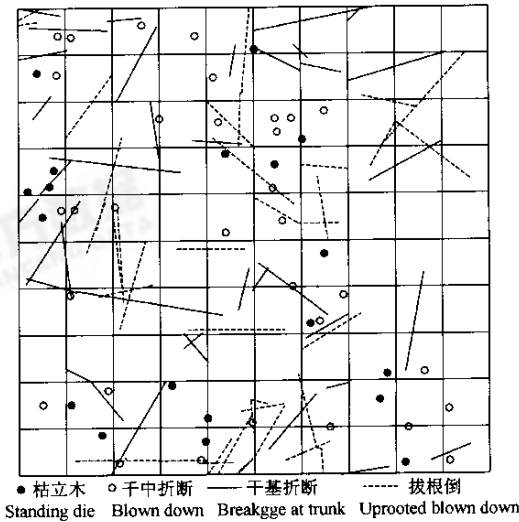


图 1 冷杉死亡木分布格局图

Fig. 1 The distributive patterns of the dead wood of *Abies*

在竞争过程中淘汰或者被其它倒木压倒死亡外,大部分都能够正常生长,因此死亡木中的小径级木数量极少;在研究林分中大径级老龄木的数量有限,因此这部分死亡木的组成数量也不多。

3.4 死亡木的现存量

死亡木的现存量是指至调查时单位面积林地上的死亡木现存数量和生物量。在冷杉林中,死亡木大多以树干形式留存,其枝、叶在树死亡后的2~3a内就分解了,因此,死亡木的现存量仅指树干部分,不包括根系和枝、叶。由表2的统计结果可知,色季拉原始冷杉林共有各种类型的死亡木117株,合计生物量为111.53 t·hm⁻²。其中,以干基折断木的存量最大,其次是拔根倒木,枯立木和干中折断木最小。从数量和生物量的分配结果来看,干基折断木和拔根倒木明显占优,这两类死亡木的数量为81 N·hm⁻²、生物量为76.09 t·hm⁻²,分别占其总量的69.2%和68.2%;而干中折断木和枯立木的现存量与前两者相比较低,其个体数量为36 N·hm⁻²、生物量35.44 t·hm⁻²,各占总量的30.8%、31.8%。由此可见,色季拉原始冷杉林死亡木最主要的输入形式是以干基折断和拔根倒形式输入为主。虽然枯立木干中折断木的数量和生物量相对较小,但与国内其它地区的针叶林死亡木相比,其贮量也是比较高的,仅这两部分的生物量就比秦岭巴山冷杉(*Abies fargesii*)林和长白山阔叶红松林系统的死亡木生物量高出1倍;与长白山北坡红松暗针叶林的鱼鳞云杉(*Picea jezoensis*)-臭冷杉(*Abies nephrolepis*)林的死亡木贮量相近^[9~11],从色季拉原始冷杉林死亡木的现存量来看,其贮量远远高于我国其它类型的针叶林和温带森林;但低于美国Olympic国家公园的黄杉、异叶铁杉林(537 t·hm⁻²)和加州巨杉-红杉林(200 t·hm⁻²)死亡木的贮量水平^[1]。

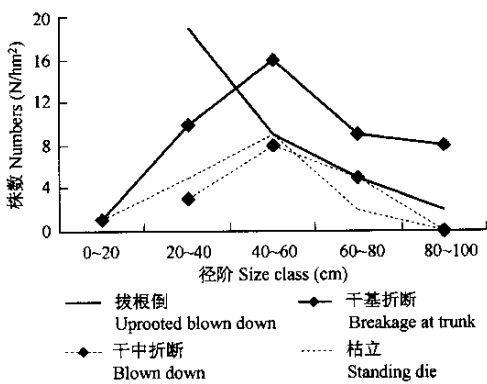


图2 死亡木直径分布曲线

Fig.2 The distributive curves of the diameters of the dead wood

表2 冷杉死亡木的数量与生物量

项目 Item	死亡木类型 Types of dead wood				Σ
	拔根倒木	干基折断	干中折断	枯立木	
	Uprooted blown down	Breakage at trunk	Blown down	Standing die	
死亡木株数 Numbers of dead wood(N/hm ²)	34	47	17	19	117
生物量 Biomass(t/hm ²)	27.75	48.34	17.41	18.03	111.53

3.5 死亡木的养分贮量与分解状况

死亡木的分解是在自然力作用下一个复杂的物理粉碎与微生物化学分解的综合过程,通常需要几十年直至数百年的时间,在这一过程中死亡木的材质密度和养分元素的含量都将随着时间推移逐渐减少。通过林地不同分解腐烂状态死亡木的养分含量测定,就可以了解冷杉死亡木的养分动态变化。为了便于研究将所有类型的死亡木按死亡后是否倒地划分为枯折木和倒木两类;干基折断木和拔根倒木是以倒伏死亡直接输入林地的,归为倒木类;枯立木和干中折断木是站立死亡的,归为枯折类。根据这两类死亡木的分解腐烂程度,又划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级,并对各分解级死亡木的C、N、P、K、Ca、Mg 6种养分元素的含量进行测定,推算其养分贮量,结果见表3。

表3 冷杉死亡木不同分解级的养分含量与贮量

Table 3 Nutrient contents and storage of <i>Abies</i> dead wood among different scales of decompositions													
养分元素 Nutrients	组分 Components(%, kg·hm ⁻²)												
	倒木 Fallen boles						枯折木 Standing dead boles						
	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Σ
C	54.3796	23999.83	53.2027	20247.40	51.1761	2838.71	54.2940	6673.34	52.7668	5301.75	50.0197	727.02	59788.05
N	0.1698	74.94	0.2466	93.85	0.3515	19.49	0.2356	28.96	0.2744	27.57	0.3756	5.46	250.27
P	0.0318	14.04	0.0476	18.11	0.0693	3.84	0.0257	3.16	0.0356	3.57	0.0369	0.54	43.26
K	0.1622	71.59	0.0334	12.71	0.0394	2.19	0.3878	47.65	0.1467	14.74	0.0459	0.67	149.55
Ca	0.1713	75.60	0.0882	33.57	0.0453	2.51	0.1514	18.61	0.1735	17.43	0.3012	4.38	152.10
Mg	0.0450	19.86	0.0545	20.81	0.0622	3.45	0.0656	8.06	0.0581	5.84	0.0993	1.44	59.46
Σ	24255.86	20426.45	2870.19	6779.78	5370.90	739.51	60442.69						

从表3的养分数据可知,原始冷杉林各类死亡木的6种元素总贮量为60442.69kg·hm⁻²。其中贮存于倒木中的有47552.5kg·hm⁻²,占总贮量的78.67%;枯折木中贮存的养分为12890.19kg·hm⁻²,占总贮量的21.33%,倒木类的养分贮量

明显大于枯折木。从两类死亡木的养分含量上看,倒木和枯立木的大小排序基本一致,依次为 $C > N > Ca > K > Mg > P$ 。在各元素的总贮量中,C 的贮量为 $59788.05 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,N 的贮量为 $250.27 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,P 的贮量为 $43.26 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,K 的贮量为 $149.55 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,Ca 的贮量为 $152.10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,Mg 的贮量 $59.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其中 C 素的贮量远大于其它元素,在 6 种元素总贮量中占 98.91%,占死亡木生物量的 53.61%,表明 C 是死亡木树干中最主要的元素。

在养分的分解过程中,倒木和枯折木的元素变化趋势各有异同。从含量的变化来看,由 I 级到 III 级的分解过程中,C 素在倒木和枯折木中的变化一致,均呈现出下降的趋势,但倒木分解量略大于枯折木,总体而言 C 的分解量并不大,C 素含量基本维持在 54.38%~50.02% 的范围内,这种缓慢的分解过程与高海拔地区冷杉林内冷湿的生境条件密切相关。N 和 P 元素的含量在倒木和枯折木分解过程中呈递增的趋势,并且在倒木中的增量大于枯折木,由于 N、P 是不容易分解淋失的元素,在死亡木分解过程中,特别是在倒木的分解过程中,降水作用、森林昆虫的活动、以及伴生的微生物、菌物等的侵入,都会引起 N、P 在树干中的富集。这一现象与长白山苔藓红松暗针叶林中臭冷杉(*Abies nephrolpis*)倒木分解过程中 N 和 P 的变化规律相同^[10]。其它元素在倒木和枯折木的分解过程中含量的变化比较复杂,K 的含量在枯折木中是随着分解过程递减,在倒木中的趋势是先减后略有所增;Ca 在枯折木中呈递增的变化,在倒木中呈递减的变化;Mg 在枯折木分解过程中是先减后增,在倒木中呈递增的变化。这 3 种元素在冷杉死亡木分解过程中呈现出一定的复杂性,可能与 3 种元素在冷杉树体内的分布、含量以及所在的生境有关。

4 结论

4.1 色季拉原始冷杉林死亡木主要由干基折断木、拔根倒木、干中折断木、枯立木 4 种类型构成。冷杉林的老龄化和心腐病是导致树势衰弱的内部因素,风害、雪压以及冠层大树的干扰是诱发折倒的外部原因。

4.2 在死亡木的分布格局中,干中折断木、干基折断木和拔根倒木在林地上呈随机分布,枯立木呈群团分布。

4.3 冷杉林死亡木主要由中径级木组成;原始冷杉林死亡木现存量为 $111.53 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,是目前国内已知针叶林类型中死亡木贮量最高的。死亡木的现存量以干基折断木最大,其次是拔根倒木,枯立木和干中折断木最小。从生物量的分配结果来看,干基折断木和拔根倒木明显占优势,由此断定,拔根倒、干基折断方式形成的倒木是原始冷杉林死亡木最主要的输入形式。但枯立和干中折断形成的枯折木亦占有相当的比重,在系统中的功能作用同样不容忽视。

4.4 在死亡木养分贮量中,C 的贮量最高,为 $59788.05 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;其次是 N,贮量为 $250.27 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;Mg 的贮量最低,为 $59.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

4.5 在死亡木的分解过程中,C 的含量呈下降的趋势;而 N 和 P 的含量会逐渐增加,其它养分元素的含量变化比较复杂,没有明显趋势。

References:

- [1] Harmon M E, Franklin J F, Swanson F J, *et al.* Ecology of coarse Wood debris in temperate cosystems. *Advances in Ecological Researches*, 1986, **15**: 133~302.
- [2] Harmon M E, Ferrell W K, Dranklin J F, *et al.* Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. *Science*, 1990, **247**: 699~702.
- [3] Luo D Q, Guo Q S, Xue H Y. The regimes and characters of disturbance of gaps in subalpine fir forest in the southeast of Tibet. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **13**(7): 777~780.
- [4] Luo D Q, Guo Q S, Xue H Y, *et al.* A research of gap regeneration of primitive fir forest in mount sejila in Tibet. *Forest Research*, 2002, **15**(5): 564~569.
- [5] Watt A S. Pattern and process in the plant community. *J. Ecol.*, 1947, **35**: 1~22.
- [6] Luo D Q, Bian B D J. A preliminary study on characteristic of moss fir forest communities on sejila mount. *Forest Research*, 2003, **16**(Sup.): 7~12.
- [7] Hubbell S P and Foster R B. Canopy gaps and the dynamics of a neotropical forest. In: Crawly, M. J. ed. *Plant ecology*. Blackwell Scientific Publicat, 1986. 77~97.
- [8] Sollins P. Input and decay of coarse woody debris in coniferous stands in western Oregon and Washington. *Can. J. For. Res.*, 1982, **12**: 18~28.
- [9] Li L H, Dang G D, Wang T J, *et al.* Coarse woody debris in an *Abies fargesii* forest in the qinling mountains. *Acta Phytocological Sinica*, 1998, **22**(5): 434~440.
- [10] Dai L M, Xu Z B, Cheng H. Storage dynamics of fallen trees in the broad-leaved and Korean pine mixed forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(3): 412~416.
- [11] Yang L Y, Dai L M. The decomposition and nutrient content of fallen woods in the moss-pine *koraiensis* dark-conifer forest at north slope of Changbai mountain. *Acta Ecological Sinica*, 2002, **22**(2): 185~189.

参考文献:

- [3] 罗大庆, 郭泉水, 薛会英. 藏东南高山冷杉林林隙特征与干扰状况研究. 应用生态学报, 2002, **13**(7): 777~780.
- [4] 罗大庆, 郭泉水, 薛会英, 等. 西藏色季拉山冷杉原始林林隙更新研究. 林业科学研究, 2002, **15**(5): 564~569.
- [6] 罗大庆, 边巴多吉. 藏东南色季拉山冷杉林群落特征研究. 林业科学研究, 2003, **16**(增): 7~12.
- [9] 李凌浩, 党高弟, 汪铁军, 等. 秦岭巴山冷杉林粗死木残体研究. 植物生态学报, 1998, **22**(5): 434~440.
- [10] 代力民, 徐斌, 郭陈华. 阔叶红松林倒木贮量的变化规律. 生态学报, 2000, **20**(3): 412~416.
- [11] 杨丽媛, 代力民. 长白山北坡苔藓红松暗针叶林倒木分解及其养分含量. 生态学报, 2002, **22**(2): 185~189.