

# 贡嘎山峨眉冷杉林凋落物的特征

罗 辑 程根伟 宋孟强 李 伟

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所,成都 610041)  
(水利部)

**摘 要** 研究了贡嘎山峨眉冷杉 (*Abies fabri*) 林凋落物量、凋落物特征及其 N、P、K、有机碳的归还量,并探讨了它们在演替进程中的变化。结果表明,峨眉冷杉成熟林、中龄林和幼龄林的凋落物量依次为:2 809.925、2 787.086、2 043.585 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>;其中 N、P、K 的归还量依次为 34.850、33.917、42.571 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>。峨眉冷杉林凋落物量及其 N、P、K 的归还量较少,与我国其它森林区针叶林存在一定差异,而与美国西北部冷杉林相近。

**关键词** 贡嘎山 峨眉冷杉林 凋落物

## THE CHARACTERISTIC OF LITTERFALL OF *ABIES FABRI* FORESTS ON THE GONGGA MOUNTAIN

LUO Ji CHENG Gen-Wei SONG Meng-Qiang and LI Wei

(Institute of Mountain Hazards and Environment, the Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

**Abstract** Litterfall and nutrient return patterns were studied in three successional stages of *Abies fabri* forests on the east slope of Gongga Mountain. The rate of litterfall showed an increasing trend while succession proceeded. The seasonality of litterfall of *Abies fabri* mature and young forests was unimodal, with a distinct peak in October and a lean period from May to June, while the seasonality of litterfall of *Abies fabri* middle age forest was a binomial curve, with peaks in May and October. Annual litterfall of mature, middle age and young forests averaged 2 809.925, 2 787.086, and 2 043.585 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, respectively. Leaf litter constituted 72.79%-77.66% of annual litterfall in all three forests. In all forests, the miscellaneous fraction made only a very small contribution (1.23%-3.54%) to the total litter production. The lichen and moss fraction also made a contribution (1.62%-5.19%) to the total litter production; this is an obvious feature of *Abies fabri* forest. Nutrient concentrations varied significantly between forests and litter fractions. Nutrient (N) concentrations were highest in the leaf litter, but litter concentration of mineral elements was lower than that of fresh foliage, due to resorption during senescence. The rate of N, P and K mass in the leaf that was resorbed during senescence showed an increasing trend in the order: middle age forest > mature forest > young forest. Nutrient (N, P, K) returns of the mature, middle age and young forests were 34.850, 33.917, and 42.571 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, respectively. There are many differences of the litterfall and nutrient return patterns between *Abies fabri* forests and other types of conifer forests in China, but there also exist some similarities with *Abies* forests in the Northwest of America.

**Key words** Gongga Mountain, *Abies fabri* forest, Litterfall

森林凋落物是森林生态系统的重要组成成分,凋落物动态是森林生态系统物质循环和能量流动的一个重要方面(Martin, 1963; Maguire, 1994)。凋落物与林分动态密切相关,其变化伴随着森林生态系统的演替进程,凋落物的归还是植物吸收的营养元素返还土壤的主要途径。顶级群落林地凋落物层的输入和输出达到了一种动态平衡,每年不断有凋落物输入土壤表面的凋落物层,同时凋落物的分解通过

土壤供应植物营养元素(Witkamp, 1966; 1969),凋落物层发挥着正常的生态功能。在研究林分生物量 and 生产力时需要准确地测定凋落物量(John & Schlesinger, 1981),在植被演替过程中,凋落物参与了土壤的形成,改变了土壤的结构和化学性质。植被原生演替过程中凋落物改变群落生境作用很大,并强烈影响种群、群落的结构和动态(Roberts, 1987)认为凋落物在地表的积累是植被演替的一部分。不

收稿日期:2002-06-11 接受日期:2002-10-21

基金项目:青藏高原形成氧化及其环境资源效应(G1998040813) 国家基础研究快速反应项目(2001CCB00600) 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-SW-319) 和国家重点自然科学基金项目(39930130)

“生态学研究的前沿与热点”国际学术研讨会论文,北京:中国科学院地理科学与资源研究所。

E-mail: luoji@imde.ac.cn

同物种形成的凋落物对森林群落结构有着显著的影响,某一林地凋落物的数量和组成反映了凋落物的产生和分解的过程,并受邻近林地凋落物的影响。凋落物层减少了土壤光照,改变了土壤温度,影响土壤水分和养分动态,这些环境条件的变化将影响植物的繁殖和更新(蒋有绪,1981;Facelli & Pickett, 1991),凋落物从一个方面展现了植物之间在时间和空间的相互作用(Bergelson, 1990)。目前,对凋落物的研究侧重于样地凋落物积累与碳和营养元素的循环的关系、凋落物对群落结构和动态的影响。

暗针叶林在北美是重要的森林,在欧亚大陆是广泛分布的泰加林的主要组成成分,并形成地带性植被。北半球暗针叶林在北方是连续分布,向南将逐渐转为间断分布。暗针叶林在我国多为山地垂直带的森林,其分布面积大,蓄积量高,曾经是我国最主要的用材林,青藏高原东缘的横断山脉是暗针叶林的主要分布区之一。分布于长江上游的暗针叶林具有重要的生态服务功能,由于以前不合理的利用,原始林面积逐渐缩小,森林生态系统严重退化,亟待采取恢复和更新措施。本文选择3种不同发展阶段的峨眉冷杉林研究其凋落物特征,为我国西南亚高山暗针叶林的恢复机理提供土壤养分的供应依据。

## 1 样地概况

研究区位于贡嘎山东坡海螺沟海拔3 000 ~ 3 100 m的高度上,气候冷湿,属山地寒温带气候类型。该区域年平均气温4.1℃,年降水量1 903 mm,年平均相对湿度在90%。在20世纪,研究区爆发了多次泥石流,泥石流迹地上现已形成峨眉冷杉中龄林和幼龄林,它们的土壤类型属于粗骨土。贡嘎山海拔3 080 m峨眉冷杉中龄林是在20世纪20年代的泥石流迹地上演替形成了峨眉冷杉纯林,林分密度达1 368株·hm<sup>-2</sup>,林龄约65年。1948年黄崩溜又暴发了一次规模较大的泥石流,泥石流流经区域原生峨眉冷杉林及其土壤被彻底破坏,在泥石流尾流区域发生植被演替,形成了峨眉冷杉幼龄林,林龄约28年。幼龄林林分密度达2 318株·hm<sup>-2</sup>,林中冬瓜栎(*Populus purdomii*)占优势,部分糙皮桦(*Betula utilis*)也位于主林层。研究区保存有原始峨眉冷杉林,土壤类型属于山地棕色暗针叶林土,峨眉冷杉成熟林林分密度为205株·hm<sup>-2</sup>,林龄约150年。

## 2 研究方法

1994~1999年我们对峨眉冷杉成熟林、中龄林凋落物进行了研究,1996~1999年对峨眉冷杉幼龄

林进行了研究。在峨眉冷杉成熟林、中龄林和幼龄林3块样地分别随机放置规格为1 m×1 m的凋落物收集框10个,由于成熟林峨眉冷杉种群集聚度较高,增设1个4.06 m×3.08 m的大框,分别收集凋落物,订正不同面积的凋落物收集框统计的年凋落物量。观测期每月1日收集凋落物,每次收集后分出叶、苔藓地衣、树皮、枝、果和杂物等成分,自然风干后,在烘箱中于80℃烘至恒重,分别称重并计算凋落物量。由于研究区当年10月底至次年4月底大雪封山,凋落物收集框被大雪所覆盖,不能够按月收集,将当年5月至次年4月凋落物量为每年凋落物总量。

贡嘎山海拔3 000 m区域全年风力很弱,季节变化很小,除每年降雪量不同对凋落物有一定影响外,其它外界影响因素很小,多种森林类型在同一区域分布,峨眉冷杉林组成种类简单,这些因素为研究凋落物及其季节动态提供了有利条件。经统计分析,本研究区域林分的年凋落物量均值变异系数低,标准差很小,所以,峨眉冷杉成熟林、中龄林与幼龄林的年凋落物量和各组成成分凋落量分别是5年和3年的平均值。

将凋落物各种成分粉碎进行化学分析,凋落物碳含量用意大利产MOD1106型元素分析测定,N用重铬酸钾-硫酸消化法,K用火焰光度法,Ca、Mg、Mn、Cu、Fe和Zn采用原子吸收分光光谱法(刘光崧,1996)。

## 3 结果与分析

### 3.1 峨眉冷杉林的年凋落量

峨眉冷杉成熟林年凋落量为2 809.925 kg·hm<sup>-2</sup>(表1),其中枯叶占凋落物总量的74.84%,枯叶中的针叶成分所占比例很高,阔叶成分主要是林下灌木叶,针叶和阔叶在10月凋落最多。峨眉冷杉林树木染腐朽病比例较高,林木成熟后枯枝、短梢较多,这样在凋落物中枯枝所占比例较大,为17.31%,5月和6月枯枝凋落很少,10月凋落最多。峨眉冷杉球果在凋落物量中占0.28%,且主要在5~8月凋落。在每年生长季,树上附生的地衣、苔藓有一定数量凋落,其在凋落物量中占3.97%,仅次于叶和枝的凋落量,反映了研究区湿度很大、气温较低的气候特点。

峨眉冷杉中龄林年凋落物量为2 787.086 kg·hm<sup>-2</sup>(表1)。凋落物中峨眉冷杉的针叶占68.72%,枯枝占有较高比例,达16.87%,落叶阔叶乔木成分

和灌木成分在凋落物中所占比例是贡嘎山所有林分中最小的,反映林冠郁闭度很高,林下有效光合辐射很低,抑制了很多林下植物生长。种群的竞争由峨眉冷杉演替林的种间竞争,转变到主要表现为峨眉冷杉种内竞争。峨眉冷杉中龄林在5月和10月凋落物较多,生长季其它月份凋落较少,针叶凋落在各月分配最不均匀,与贡嘎山落叶阔叶混交林中的常绿树叶凋落年动态相似,而与其它峨眉冷杉林针叶凋落方式不同。这可能与峨眉冷杉种内竞争加剧,冠幅变小,针叶叶龄较短有关。峨眉冷杉开始性成熟,在林缘个别生长较好的植株产生球果,凋落物中只有极少量的球果凋落。根据我们全年森林小气候观测,峨眉冷杉中龄林林内小气候比峨眉冷杉成熟林还阴冷、潮湿,地衣、苔藓凋落量在凋落物总量所占比例也较高。

峨眉冷杉幼龄林年凋落量为  $2\ 043.585\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (表1)。凋落物中落叶阔叶所占比例最大,达  $65.70\%$ 。枯枝占有较高比例,达  $13.88\%$ 。生长季中针叶在各月凋落分配比较均匀,且有逐月增加的趋势。凋落物中树皮所占比例在以上林分中是最高

的,这主要是先锋树种死亡后,最初几年树皮大量脱落所致。演替前期和中期枯死树木树皮的凋落量仅次于枯叶、枯枝,树木在演替过程中对土壤形成的作用是在不断加强,演替前期和中期凋落物中的树皮发挥了重要作用。与以上2种林分相比,峨眉冷杉幼龄林凋落物中针叶、地衣和苔藓、碎屑等成分所占比例较低,峨眉冷杉尚未性成熟,没有球果凋落。峨眉冷杉幼龄林的凋落物在生长季逐月增加,冬季的凋落物较少,春季的凋落物最少。

在演替的前期和中期凋落物增加十分明显,峨眉冷杉中龄林以后增幅减缓,成熟林林下灌木成分增加,凋落物中枯叶减少,枯枝等其它成分增加。对贡嘎山峨眉冷杉过熟林的初步研究表明,在过熟林凋落物中灌木成分大量增加,乔木成分下降,落叶阔叶成分大量增加,针叶成分下降。

森林月凋落物量具有明显的季节变化规律,一般认为暗针叶林的月凋落物量变化呈单峰型。峨眉冷杉成熟林和幼龄林月凋落物量变化呈单峰型,中龄林月凋落物量变化呈双峰型,说明在植被演替的不同阶段,森林月凋落物量也存在着变化。

表1 峨眉冷杉林年凋落物量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )  
Table 1 Amount of the litterfall in the *Abies fabri* forests

峨眉冷杉林 <i>Abies fabri</i> forest	月份 Month	阔叶 Broad leaf	针叶 Needle	地衣、苔藓 Lichen and moss	树皮 Bark	枝 Twig	球果 Cone	碎屑 Miscellaneous	合计 Total	
	5	9.752	134.128	4.935	4.873	12.764	1.916	10.744	179.112	
	6	0.089	118.241	13.931	1.931	12.794	1.243	8.567	156.796	
	7	0.796	241.661	12.772	3.750	50.345	1.811	11.417	322.552	
	成熟林 Mature forest	8	41.914	189.364	25.081	4.959	35.792	2.727	3.695	303.532
	9	27.869	171.98	28.461	5.627	68.75	0.018	6.323	309.028	
	10	78.881	703.156	13.895	24.872	113.486	0.014	4.516	938.820	
	11~4	7.323	377.822	12.335	6.636	192.546	0.031	3.392	600.085	
	合计 Total	166.624	1 936.352	111.410	52.648	486.477	7.760	48.654	2 809.925	
	5	10.148	505.071	24.178	5.350	57.183	-	16.202	618.132	
	6	0.108	136.382	16.707	3.115	62.710	-	22.238	241.260	
	中林龄 Middle age forest	7	8.967	36.067	12.556	3.789	10.433	-	6.653	78.465
	8	12.962	36.858	9.172	2.478	76.840	-	5.097	143.407	
	9	18.551	163.632	3.786	3.719	50.271	-	5.724	245.683	
	10	56.390	367.603	1.876 9	4.439	41.693	-	6.021	478.023	
	11~4	6.338	669.712	76.468	22.053	170.957	-	36.588	982.116	
	合计 Total	113.464	1915.325	144.744	44.943	470.087	-	98.523	2 787.086	
	5	4.368	9.580	2.078	3.568	0.770	-	1.157	21.521	
	6	3.473	6.340	2.603	1.605	12.569	-	1.970	28.560	
	幼林龄 Young forest	7	100.144	10.286	0.385	6.238	10.623	-	0.847	128.523
	8	344.643	6.205	0.230	15.681	18.258	-	0.860	385.877	
	9	349.775	14.773	6.123	48.703	57.473	-	1.162	478.009	
	10	506.499	95.469	1.564	23.507	94.992	-	14.714	736.745	
	11~4	33.696	101.820	20.087	15.288	89.005	-	4.454	264.350	
	合计 Total	1 342.598	244.473	33.070	114.590	283.690	-	25.164	2 043.585	

### 3.2 凋落物的主要元素含量及其归还量

#### 3.2.1 凋落物的主要元素含量

峨眉冷杉成熟林凋落物中, 针叶的元素含量季节动态变化很大(表 2)。5~8 月针叶的 N、P、K 含量逐月升高, 生长季(5~10 月)结束时迅速下降, N、P 降至最低点, 在冬季的含量有所回升, K 的含量在冬季才降到最低点。针叶中 Fe 含量季节变化最大, 且变化没有规律, Mn 含量的季节变化最小, 其它元素含量变化不大。

峨眉冷杉中龄林的凋落物中, 针叶的元素含量月动态变化较大(表 2)。5~8 月针叶的 N、P、K 含量逐月升高, 生长季结束时针叶的 N、P 含量迅速下降至最低点, 冬季的含量有所回升, K 的含量是在冬季达到最低点。针叶中 Fe 含量季节变化最大, Mn 含量的季节变化最小, 其它元素含量变化较小。

与峨眉冷杉林成熟林相比, 峨眉冷杉中龄林的凋落物中针叶 N 和 P 元素的含量季节动态变化较大。N 含量在生长季开始较低, 在生长季盛期达到最高, 在 10 月下降至最低点。P 含量在生长季开始较低, 在 10 月下降至最低点。峨眉冷杉中龄林凋落物中针叶 K 的平均含量比峨眉冷杉林成熟林低很多, K 含量月动态变化幅度比成熟林小得多。Ca 和 Mg 的含量还是成熟林较高。不仅 Mn 含量的月动态在两种林分中变化幅度最小, 而且在两种林分中叶的平均含量接近。

不同种类以及同一种类不同时期的凋落物营养元素含量差别很大, 在占凋落物总量很大比例的落叶中表现得十分明显, 所以, 计算凋落物营养元素年

归还总量时一定要对 1 年中各月的凋落物营养元素归还量进行加权处理, 在研究凋落物分解速率时, 要处理好投放的样品。

植物体各器官 C 含量相对较低, 凋落物的 C 含量相对较高, 而营养元素含量较低。凋落物中枝的 C 含量很高, N、P 含量最低; 叶的 N、P、K 含量较高, 幼龄林落叶中阔叶成分所占比例很大, 叶的 N 含量最高, 地衣、苔藓 C 含量最低(表 3)。

凋落物的化学成分和 C/N 是决定其分解速率的内在因素(Laskowski *et al.*, 1995), C/N 是其分解速率的一个重要指标, 一般认为凋落物组成成分中 C/N 高, 分解较慢, 否则就快。本研究的 3 种林分分布在同一小区域内, 水、热等外界条件十分相似, 从表 3 凋落物组成成分 C/N 来看, 凋落物中各组成成分分解速率依次为: 枯叶 > 苔藓、地衣 > 树皮 > 球果 > 枝。3 种林分凋落物各种成分的分解速率存在一定差异, 幼龄林的枯叶分解最快, 成熟林的枯枝分解速率最慢, 幼龄林凋落物分解速率最快, 中龄林凋落物分解速率比成熟林略快。地衣、苔藓的分解速率与针叶相近, 由于其中龄林和成熟林凋落物中占有较高比例, 表明地衣、苔藓在喜阴湿的峨眉冷杉林养分归还中发挥着重要作用, 这是分布于青藏高原东缘部分林分的一个显著特点。

#### 3.2.2 凋落物的主要元素归还量

峨眉冷杉成熟林凋落物 N、P、K 和有机碳年归还量为  $1\,466.497\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (表 4), 其中营养元素 N、P、K 年归还量较少, 这不仅是峨眉冷杉成熟林年凋落量较少, 还由于占峨眉冷杉成熟林年凋落量

表 2 峨眉冷杉林凋落物中针叶的元素含量( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Table 2 The content of nutrient elements in the needle litterfall of *Abies fabri* forest

峨眉冷杉林 <i>Abies fabri</i> forest	月份 Month	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn
成熟林 Mature forest	5	13.650	0.803	1.714	6.635	0.869	0.242	0.007	1.618	0.041
	6	15.300	0.880	2.555	5.518	0.646	0.252	0.005	0.527	0.030
	7	15.520	0.919	2.991	6.089	1.023	0.248	0.007	2.000	0.043
	8	16.610	0.958	3.474	6.490	0.669	0.237	0.006	0.709	0.034
中林龄 Middle age forest	9	11.810	0.841	2.747	7.519	0.676	0.289	0.004	0.378	0.027
	10	8.845	0.491	1.287	8.780	0.516	0.258	0.004	0.241	0.021
	11~4	11.710	0.555	1.081	7.811	0.950	0.228	0.006	2.100	0.041
	5	13.200	0.561	1.121	6.364	0.570	0.243	0.003	0.798	0.039
中林龄 Middle age forest	6	16.010	0.816	1.281	6.059	0.677	0.252	0.004	0.974	0.048
	7	16.840	0.837	1.700	6.213	0.723	0.213	0.005	0.992	0.045
	8	17.790	0.863	1.883	6.692	0.798	0.229	0.005	1.211	0.058
	9	11.230	0.540	1.545	6.748	0.518	0.273	0.003	0.426	0.033
	10	8.264	0.370	1.195	7.557	0.423	0.315	0.002	0.206	0.027
11~4	11.910	0.557	1.005	7.120	0.605	0.249	0.003	0.819	0.043	

表 3 峨眉冷杉林凋落物主要元素含量( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
Table 3 The content of main elements in the litterfall of *Abies fabri* forest

峨眉冷杉林 <i>Abies fabri</i> forest	凋落物成分 Litterfall composition	C	N	P	K	C/N
成熟林 Mature forest	叶 Leaf	511.896	11.847	0.576	1.836	43.211
	地衣 苔藓 Lichen and moss	449.197	9.496	0.565	3.151	47.302
	树皮 Bark	462.506	4.938	0.475	0.532	93.654
	枝 Twig	518.555	4.161	0.241	0.582	124.623
	球果 Cone	492.784	5.026	0.515	5.541	98.047
	碎屑 Miscellaneous	506.803	8.057	0.432	3.206	62.902
中林龄 Middle age forest	叶 Leaf	507.811	12.075	0.568	1.162	42.055
	地衣 苔藓 Lichen and moss	396.054	8.726	0.608	3.316	45.388
	树皮 Bark	479.496	6.987	0.534	0.690	68.627
	枝 Twig	516.226	4.155	0.455	1.483	124.242
	碎屑 Miscellaneous	497.554	6.435	0.416	1.746	77.320
幼林龄 Young forest	叶 Leaf	592.508	22.370	0.850	1.137	26.487
	地衣 苔藓 Lichen and moss	366.737	9.041	0.605	3.326	40.564
	树皮 Bark	464.140	6.821	0.550	0.603	68.046
	枝 Twig	525.232	6.327	0.416	1.421	83.014
	碎屑 Miscellaneous	511.246	8.266	0.397	1.590	61.849

68.91%的针叶 N、K 含量明显比贡嘎山常绿与落叶阔叶混交林的阔叶少<sup>1)</sup>, N 含量约少一半。峨眉冷杉成熟林凋落物元素年归还量中, 枯叶的归还量占总量的 75.45%, 占有机碳归还总量的 75.19%, 占 N 归还总量的 86.85%, 其它成分营养元素年归还量所占比例都较小。

虽然峨眉冷杉中龄林在生长盛期针叶的 N 含量最高, 由于其年度变化大, 针叶凋落最多的月份 N 含量最低, 针叶在凋落前 N 回流充分。针叶中 N 的平均含量很低, 故单位重量的针叶向土壤归还 N 较少, 同时也反映了峨眉冷杉中龄林立地 N 较缺乏, 植物之间存在强烈的养分争夺。峨眉冷杉中龄林凋落物中针叶 P 含量季节动态变化与 N 相似, 3 种林分中中龄林枯叶 P 的年归还量最小。

峨眉冷杉中龄林凋落物中 N、P、K 和有机碳年归还量为  $1\,434.727\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  (表 4), 由于峨眉冷杉中龄林年凋落量较少, 针叶的营养元素含量较低等原因, 比同一海拔峨眉冷杉成熟林营养元素归还量少, 若将草本层和地被层的元素归还计算在内, 峨眉冷杉中龄林年归还量会更少。在峨眉冷杉中龄林凋落物营养元素年归还量中, 枯叶的归还量占总量的 73.76%, 占有机碳归还总量的 73.55%, 占 N 归还总量的 85.47%, 其它成分在营养元素年归还量中所占比例都较小。

峨眉冷杉幼龄林凋落物中 N、P、K 和有机碳归

还量为  $1\,210.063\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  (表 4)。由于峨眉冷杉幼龄林年凋落量少, 凋落物中 N、P、K 和有机碳年归还量最低, 若只统计 N、P、K 营养元素的归还量, 幼龄林归还量最多, 成熟林和中龄林的归还量分别只有幼龄林的 81.86% 和 79.67%, 这主要是幼龄林凋落物落叶成分所占比例较高, 且枯叶中 N、P、K 含量高的缘故。从生态系统的养分循环方面来看, 枯叶中含养分较高的阔叶(这里主要指冬瓜杨)每年大量的养分归还, 对于在演替前期、中期养分含量很低的迹地生长的各种植物是十分必要的, 对土壤的发育也有着重要作用。峨眉冷杉幼龄林凋落物元素年归还量中枯叶的归还量占总量的 80.91%, 占有机碳归还总量的 80.54%, 占 N 归还总量的 92.01%, 幼龄林枯叶的这几方面都比成熟林和中龄林的高, 可见在植被原生演替过程中, 落叶在生态系统中养分周转发挥了重要作用。其它成分在营养元素年归还量中所占比例都较小, 作用也不明显。

#### 4 讨论

峨眉冷杉林是我国西南亚高山暗针叶林的主要类型之一, 是贡嘎山东坡的主要植被类型(罗辑等, 2000)。贡嘎山东坡峨眉冷杉林年凋落物量和 N、P、K 年归还量与川西分布的冷杉林特点相似(马志贵等, 1993), 与美国西北部冷杉林也有许多相同的特点, 但是, 与我国其它森林区针叶林存在一定差异。

1) Luo, J. (罗辑). 2003. Characteristic of forests litterfall along vertical spectrum on the Gongga Mountain. Journal of Mountain Science (山地学报). (in Chinese with English abstract)

表 4 峨眉冷杉林凋落物元素归还量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )  
Table 4 Annual elements returns of the litterfall in *Abies fabri* forest

峨眉冷杉林 <i>Abies fabri</i> forest	凋落物成分 Litterfall composition	C	N	P	K	合计 Total
成熟林 Mature forest	阔叶 Broad leaf	73.281	1.700	0.073	0.162	75.216
	针叶 Needle	1 003.224	23.213	1.139	3.699	1 031.275
	地衣 苔藓 Lichen and moss	50.045	1.058	0.063	0.351	51.517
	树皮 Bark	24.350	0.260	0.025	0.028	24.663
	枝 Twig	252.265	2.024	0.117	0.283	254.689
	球果 Cone	3.824	0.039	0.004	0.043	3.910
	碎屑 Miscellaneous	24.658	0.392	0.021	0.156	25.227
	合计 Total	1 431.647	28.686	1.442	4.722	1 466.497
中林龄 Middle age forest	阔叶 Broad leaf	68.748	1.541	0.100	0.121	70.510
	针叶 Needle	961.493	22.956	1.053	2.236	987.738
	地衣 苔藓 Lichen and moss	57.326	1.263	0.088	0.480	59.157
	树皮 Bark	21.550	0.314	0.024	0.031	21.919
	枝 Twig	242.671	1.952	0.214	0.697	245.534
	碎屑 Miscellaneous	49.022	0.634	0.041	0.172	49.869
		合计 Total	1 400.81	28.66	1.520	3.737
幼林龄 Young forest	阔叶 Broad leaf	820.193	32.491	1.212	1.519	855.415
	针叶 Needle	120.159	3.011	0.137	0.285	123.592
	地衣 苔藓 Lichen and moss	12.128	0.299	0.020	0.110	12.557
	树皮 Bark	53.144	0.781	0.063	0.069	54.057
	枝 Twig	149.003	1.795	0.118	0.403	151.319
	碎屑 Miscellaneous	12.865	0.208	0.010	0.040	13.123
		合计 Total	1 167.492	38.585	1.560	2.426

美国西北部各种类型针叶林大面积分布,虽然很多林分生物量很高,但是叶的生物量并不高(Fujimori *et al.*, 1976),凋落物中针叶的营养元素含量较低(Kiilsgaard *et al.*, 1987; Maguire, 1994),所以营养元素年归还量较小,这在暗针叶林中尤为突出。170 a 林龄的太平洋冷杉(*Abies amabilis*)林年凋落量和 N、P、K 年归还量分别为 3017.23、25.6  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (Turner & Singer, 1976),350 a 林龄的太平洋冷杉林 N、P、K 年归还量为 27.3  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (Tarrant *et al.*, 1951),60 a 林龄的次生北美冷杉(*Abies grandis*)林凋落量和 N、P、K 年归还量分别为 3 694、47.5  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (Tiedemann *et al.*, 1980)。

西藏林芝云杉(*Picea likiangensis*)林年凋落量为 3 751.23  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,N、P、K 年归还量为 76.17  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (王建林等, 1998);长白山红松阔叶混交林年凋落量为 3 838.5  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,N、P、K 年归还量为 60.65  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (程伯容等, 1987);天山云杉(*Picea schrenkiana*)年凋落量大于 3 345  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (王燕等, 1999)。与许多温带和热带森林生态系统相比(Tarrant *et al.*, 1951; Bray & Gorham, 1964; James *et al.*, 1972; Laskowski *et al.*, 1995),峨眉冷杉林年凋落量较少,N、P、K 年归还量更少。峨眉冷杉成熟林、中龄林年凋落量和 N、P、K 年归还量是略大于广东南

亚热带次生针叶林(翁轰等, 1993)。

热带雨林每年凋落物量大,营养元素年归还量也大,特别是 N 每年归还量很大(Cornforth, 1970; Wanner, 1970; John, 1976; Scott *et al.*, 1993; Nebel *et al.*, 2001),Ny(1961)认为热带雨林叶在凋落过程中营养元素回流比温带森林差,因为二者乔木叶 N 含量相近,而热带雨林落叶中 N 含量较高。将贡嘎山东坡亚热带的常绿与落叶阔叶混交林与寒温带的峨眉冷杉林相比,发现在高山垂直带谱上常绿与落叶阔叶混交林在凋落过程中营养元素回流比峨眉冷杉林差。贡嘎山峨眉冷杉成熟林和中龄林凋落物中针叶 N、P、K 含量明显低于其新鲜叶片的含量,表明凋落过程中存在较高的 N、P、K 回流,峨眉冷杉幼龄林针叶成分在凋落物中所占比例较小,阔叶营养元素回流较少,所以,峨眉冷杉幼龄林 N、P、K 等营养元素回流量最少,归还量最大。

峨眉冷杉林演替过程中森林年凋落物量呈增长趋势,N、P、K 年归还量为:幼龄林 > 成熟林 > 中林龄,3 种不同发展阶段的峨眉冷杉林 N、P、K 年归还量都不高。峨眉冷杉林具有较高的生物量和较低的营养元素周转率,保持营养元素水平良好,减少了土壤养分的损失,有利于林分生物量 and 生产力维持在一较高水平(Kimmins, 1987)。峨眉冷杉林的养分循

环机制有利于与其它物种竞争,并保持其自身的稳定性。

### 参 考 文 献

- Bergelson, J. 1990. Life after death: site pre-emption by the remains of *Poa annua*. *Ecology*, **71**:2157 ~ 2165.
- Bray, J. R. & E. Gorham. 1964. Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research*, **2**:101 ~ 157.
- Cheng, B. R. (程伯容), G. F. Ding(丁桂芳), G. S. Xu(许广山) & Y. H. Zhang(张玉华). 1987. The nutrient cycling in the Korean pine-broad leaved forest of the Changbai Mountains. *Acta Pedologica Sinica(土壤学报)*, **24**:160 ~ 169. (in Chinese with English abstract)
- Cornforth, I. S. 1970. Leaf-fall in a tropical rain forest. *Journal of Applied Ecology*, **7**: 603 ~ 608.
- Facelli, J. M. & S. T. A. Pickett. 1991. Plant litter: light interception and effects on an old-field plant community. *Ecology*, **72**: 1024 ~ 1031.
- Fujimori, T., S. Kawanabe, H. Saito & C. C. Grier. 1976. Biomass and primary production in forests of three major vegetation zone of the northwestern United States. *Journal of the Japanese Forestry Society*, **53**:360 ~ 373.
- James, R. G., G. E. Likens & F. H. Bormann. 1972. Nutrient content of litter fall on the Hubbard Brook experimental forest, New Hampshire. *Ecology*, **53**:769 ~ 784.
- Jiang, Y. X. (蒋有绪). 1981. Phytoecological role of forest floor in subalpine fir forests in Western Sichuan province. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica(植物生态学与地植物学丛刊)*, **5**:89 ~ 98. (in Chinese with English abstract)
- John, J. E. 1976. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in Eastern Guatemala. *Journal of Ecology*, **64**: 293 ~ 308.
- John, T. G. & W. H. Schlesinger. 1981. Biomass, production, and litterfall in the coastal sage scrub of Southern California. *American Journal of Botany*, **68**: 24 ~ 33.
- Kiilsgaard, C. W., S. E. Greene & S. G. Stafford. 1987. Nutrient concentrations litterfall from western conifer with special reference to calcium. *Plant and Soil*, **102**:223 ~ 227.
- Kimmins, J. P. 1987. *Forest ecology*. New York: Macmillan Publishing Company. 108 ~ 116.
- Laskowski, R., M. Niklinska & M. Maryanski. 1995. The dynamics of chemical elements in forest litter. *Ecology*, **76**: 1393 ~ 1406.
- Liu, G. S. (刘光崧). 1996. Soil physical and chemical analysis and description of profiles. Beijing: Chinese Standard Press. 50 ~ 52. (in Chinese)
- Luo, J. (罗辑), Z. Yang (杨忠) & Q. W. Yang (杨清伟). 2000. A study on the biomass and production of forest on the Gongga Mountain. *Acta Phytocologica Sinica(植物生态学报)*, **24**:191 ~ 196. (in Chinese with English abstract)
- Ma, Z. G. (马志贵) & J. X. Wang (王金锡). 1993. A study on the dynamics of forest litter in the habitat of Giant Panda. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica(植物生态学与地植物学学报)*, **17**:155 ~ 163. (in Chinese with English abstract)
- Maguire, D. A. 1994. Branch mortality and potential litter fall from Douglas-fir trees in stands of varying density. *Forest Ecology and Management*, **70**: 41 ~ 53.
- Martin, W. 1963. Microbial populations of leaf litter in relation to environmental conditions and decomposition. *Ecology*, **44**: 370 ~ 377.
- Nebel, G., J. Dragsted & A. S. Vega. 2001. Litter fall, biomass and net primary production in flood plain forests in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, **150**:93 ~ 102.
- Nye, P. H. 1961. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil*, **3**:333 ~ 346.
- Roberts, D. W. 1987. A dynamical perspective on vegetation theory. *Vegetatio*, **69**:27 ~ 33.
- Scott, D. A., J. Proctor & J. Thompson. 1993. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maraca Island, Roraima, Brazil. II. litter and nutrient cycling. *Journal of Applied Ecology*, **80**:705 ~ 717.
- Tarrant, R. F., L. A. Isaac & E. F. Chandler. 1951. Observations on litterfall and foliage nutrient content of some Pacific Northwest tree species. *Journal of Forestry*, **49**:914 ~ 915.
- Tiedemann, A. R., J. D. Helvey & T. D. Anderson. 1980. Effects of chemical defoliation of *Abies grandis* habitat on amounts and chemistry of throughfall and stemflow. *Journal of Environmental Quality*, **9**:320 ~ 328.
- Turner, J. & M. J. Singer. 1976. Nutrient distribution and cycling in a sub-alpine coniferous forest ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, **13**: 295 ~ 301.
- Wang, J. L. (王建林), L. Tao (陶澜) & Z. W. Lu (吕振武). 1998. Study on the characteristic of litterfall of *Picea likiangensis* var. *linzhiensis* forests in Tibet. *Acta Phytocologica Sinica(植物生态学报)*, **22**:566 ~ 570. (in Chinese with English abstract)
- Wang, Y. (王燕) & S. D. Zhao (赵士洞). 1999. Biomass and net productivity of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* forest. *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)*, **10**: 389 ~ 391. (in Chinese with English abstract)
- Wanner, H. 1970. Soil respiration, litter fall and productivity of tropical rain forest. *Journal of Ecology*, **58**: 543 ~ 547.
- Weng, H. (翁羲), Z. A. Li (李志安), M. Z. Tu(屠梦照) & W. H. Yao(姚文华). 1993. The production and nutrient contents of litter in forests of Ding Hu Shan Mountain. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica(植物生态学与地植物学学报)*, **17**:299 ~ 304. (in Chinese with English abstract)
- Witkamp, M. 1966. Decomposition of leaf litter in relation to environment, microflora, and microbial respiration. *Ecology*, **47**: 194 ~ 201.
- Witkamp, M. 1969. Cycles of temperature and carbon dioxide evolution from litter and soil. *Ecology*, **50**: 922 ~ 924.

责任编辑:黄建辉 责任编辑 张丽赫