

贡嘎山垂直带林分凋落物及其理化特征

罗 辑,程根伟,陈斌如,李 伟

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所,四川 成都 610041)

摘 要:本文研究了贡嘎山东坡垂直带森林凋落物量、凋落物特征及其 N、P、K、有机碳的归还量,并探讨了它们随海拔高度变化的规律。结果表明,分布于海拔 2200m 常绿与落叶阔叶混交林、海拔 3050m 峨眉冷杉和林线峨眉冷杉的凋落物量依次为:3811.017、2809.925、2908.501 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$; N、P、K 的归还量依次为:66.577、34.850、40.758 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。贡嘎山东坡海拔 2200m 至 3580m 天然林乔木层的年凋落物量随水热条件的变化有明显减少的趋势,乔木层的年凋落物中阔叶成分逐步消失,针叶成分从无到有,地衣、苔藓所占比例逐渐减小,碎屑所占比例也趋于减小。

关键词:贡嘎山;垂直带;凋落物

中图分类号:S718

文献标识码:A

我国幅员辽阔,山脉众多,植被分布三向地带性表现十分明显。不同植物群落的结构和功能有着明显的不同,分布在世界各地不同类型的群落凋落物的数量和成分差异很大,且呈一定规律性变化,Bray 提出了全球凋落物的格局^[1]。国内外对全球主要类型森林的凋落物都进行了研究,还开展了对不同气候区森林凋落物的比较研究^[2],以及演替过程中凋落物的数量动态^[3,4]。随着海拔的升高,水热条件发生显著改变,植被分布的垂直地带性规律是山地植被的显著特征,不同区域的高山具有其独特的植被垂直带谱。高山垂直带上不同林分的凋落物成分复杂,各种成分的数量变化非常大;地带性植被的成熟林凋落物量的年际变化较小,而次生林凋落物量的年际变化很大。凋落物中通常以枯叶为主,由于林分的林龄、立地条件以及演替阶段不同,枯叶在凋落物中所占比例呈现出一定规律性变化。目前对高山森林生态系统凋落物的比较研究很少,而这方面的工作对全面认识森林生态系统的结构和功能十分重要。本文在贡嘎山选择分布于不同海拔高度的成熟林,研究其年凋落物量和主要营养元素

年归还量,为我国西南亚高山森林的健康发展以及恢复更新提供理论依据。

1 自然条件

贡嘎山是横断山系的主峰,海拔高达 7 556m。由于山体高大、南北走向,阻挡着东南季风的暖湿气流,在东坡不同海拔高度水热条件差异很大,山脚下是干热河谷,而在海拔 3 000m 年平均降水量达 1 930mm。贡嘎山东坡具有完整垂直带系列,目前天然林主要分布于海拔 2 000~3 600m 范围,从低海拔至高海拔依次有常绿与落叶阔叶混交林、针阔混交林、针叶林,在常绿与落叶阔叶混交林带中有部分常绿阔叶林呈斑块分布,针阔混交林带在贡嘎山东坡最窄,过渡性明显,林线以上还分布着矮曲灌丛林。

2 研究方法

在海拔 2 200m 常绿与落叶阔叶混交林、海拔 3 050m 峨眉冷杉林和海拔 3 560m(林线)峨眉冷杉

收稿日期(Received date):2003-01-05;改回日期(Accepted):2003-05-10。

基金项目(Foundation item):中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-SW-319)和国家重点基础发展规划项目[Supported by the key project of Chinese Academy of Science(KZCX2-SW-319) and by the national key project for basic research on Tibetan Plateau (G1998040813)]

作者简介(Biography):罗辑(1960-),男,研究员,主要从事山地环境生态研究。[LUO Ji(1960-)male, Professor, works mainly on mountain environment and ecology. E-mail:luoji@imde.ac.cn]

林的样地分别随机放置规格为 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 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 12.5 m^2 的大框。观测期每月收集常绿与落叶阔叶混交林、海拔 3 050m 峨眉冷杉林凋落物,海拔 3 050m 峨眉冷杉林在冬季积雪很厚,只能在 5 至 10 月按月收集凋落物。常绿与落叶阔叶混交林和林线峨眉冷杉林的样地交通不便,林线峨眉冷杉林每年收集 2 次凋落物,常绿与落叶阔叶混交林的凋落物在每月不同日期收集,目前只能统计出不同季节凋落物的分配。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°C 烘至恒重,分别称重并计算凋落物量。供分析的样品在烘箱中于 40°C 烘至恒重。

贡嘎山东坡全年风力很弱,风力季节变化很小,除每年降雪量不同对峨眉冷杉林凋落物有一定影响外,

其它外界影响因素很小。1994~1999 年我们对以上 3 种林分的凋落物进行了测定,经统计分析,年凋落物量均值变异系数低,标准差很小,故采用年凋落物量和各组成成分凋落量是多年平均值。

将凋落物各种成分烘干,粉碎后进行化学分析。凋落物碳含量用意大利产 MOD1106 型元素分析仪测定,N 用重铬酸钾-硫酸消化法,P 采用钼锑抗比

色法,K 用火焰光度法,Ca, Mg, Mn, Cu, Fe 和 Zn 采用原子吸收分光光度法。

3 结果与分析

3.1 常绿与落叶阔叶混交林凋落物

贡嘎山东坡处于亚热带南缘,常绿与落叶阔叶混交林属于山地基带植被类型之一^[5]。分布在海拔 2 200m 的常绿与落叶阔叶混交林乔木层由苞榭柯(*Lithocarpus cleistocarpus*)、香桦(*Betula insignis*)、扇叶槭(*Acer flabellatum*)组成,该林分年凋落量为 $3\,811.017 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 1),其中枯叶占凋落物总量的 62.92%,枝所占比例很小,为 7.78%,总体上呈现温带落叶阔叶林的特点^[2]。地衣和苔藓在该林分的凋落物中占有比例,且在一定程度上反映了立地的水热状况较好。碎屑在凋落物中占比例较大,为 16.67%,主要是落叶阔叶树的落叶易碎,且分解较快。落叶阔叶树主要在秋季落叶,常绿阔叶树 1 年中有 2 个凋落高峰期,分别在夏季和冬季,也就是出现在雨季开始和雨季结束,这点与南亚热带季风常绿阔叶林具有相似的特点^[6]。贡嘎山常绿与落叶阔叶混交林各个季节的凋落量除春季较少外,其它各个季节变化不大。

表 1 常绿与落叶阔叶混交林年凋落量及其组分($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 1 Amount and composition of the litterfall in the evergreen and deciduous broadleaf forest

	落叶阔叶	常绿阔叶	地衣苔藓	树皮	枝	碎屑	合计
春季	269.780	87.130	111.500	11.963	64.221	25.339	569.933
夏季	186.553	509.687	149.717	8.259	107.670	96.604	1058.490
秋季	557.067	103.563	46.727	21.863	26.036	326.957	1082.213
冬季	73.445	610.536	87.326	44.280	98.470	186.324	1100.381
合计	1086.845	1310.916	395.270	86.365	296.397	635.224	3811.017
百分比(%)	28.51	34.39	10.37	2.27	7.78	16.66	100

贡嘎山常绿与落叶阔叶混交林凋落物中落叶阔叶成分的 N 和 K 含量在生长季逐月升高,N 在枯叶中含量很高,超过了热带雨林枯叶的平均含量^[7]。

Ca 的含量也很高,但在生长季逐月下降。Cu 和 Zn 的含量季节变化较小(表 2)。

表 2 凋落物中落叶阔叶成分的元素含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 2 The content of nutrient elements in litterfall of deciduous broadleaf trees

月份	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn
5	12.250	0.300	1.735	18.519	3.269	0.150	0.010	0.418	0.073
6	16.210	0.613	3.389	18.542	1.695	0.407	0.015	0.829	0.085
7	21.170	1.074	4.502	16.678	3.282	0.145	0.011	0.291	0.167
8	21.230	0.934	5.112	15.217	3.197	0.119	0.012	0.184	0.161
9	22.880	0.929	5.135	14.495	2.664	0.220	0.011	0.427	0.115

贡嘎山常绿与落叶阔叶混交林凋落物中常绿阔叶成分的 N、P、K 含量在生长季逐月下降。Ca 和 Mg 含量在生长季呈逐月升高的趋势,枯叶中 Ca 的含量很高,在生长季逐月显著升高。Cu 和 Zn 的含量季节变化同样较小(表 3)。

贡嘎山常绿与落叶阔叶混交林凋落物元素年归还量较大, N、P、K 和有机碳年归还总量为 $2\ 128.896\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表 4)。其中枯叶的归还量占

总量的 64.05%, 占有机碳归还总量的 61.48%, 占 N 归还总量的 77.82%, 其他成分在年归还量的不同元素中所占比例都较小。生长中的植物体各器官矿质营养元素含量较高, C 含量相对较低, 在凋落过程中存在部分元素回流以及部分元素被加速淋洗掉等因素, 使得有机碳在凋落物的不同组分中含量有所上升。由此可见, 枯叶在各种元素年归还量中的地位, 以及在森林生态系统 C 循环中的重要作用。

表 3 凋落物中常绿阔叶成分的元素含量($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 3 The content of nutrient elements in litterfall of evergreen broadleaf trees

月份	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn
3	16.300	1.027	5.093	7.334	1.388	0.466	0.005	0.253	0.021
5	13.570	0.701	3.179	10.914	1.389	0.453	0.005	0.140	0.018
6	12.360	0.521	1.908	17.102	1.458	0.732	0.004	0.829	0.025
7	12.170	0.497	1.605	18.502	1.608	0.740	0.004	0.147	0.040
8	11.700	0.405	1.431	20.870	1.601	0.888	0.004	0.128	0.022
9	10.750	0.454	1.290	21.244	1.612	0.616	0.004	0.147	0.027

表 4 常绿与落叶阔叶混交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 the evergreen And deciduous broadleaf forest

	有机碳	N	P	K	合计
落叶阔叶	614.827	20.975	0.506	4.216	640.524
常绿阔叶	706.374	18.344	1.045	3.719	729.482
地衣苔藓	190.239	1.245	0.239	1.245	192.968
树皮	41.714	0.380	0.285	0.510	42.889
枝	164.708	1.770	0.222	1.440	168.140
碎屑	344.457	7.813	0.476	2.147	354.893
合计	2062.319	50.527	2.773	13.277	2128.896

3.2 海拔 3 050m 峨眉冷杉林

四川省是我国冷杉属种类最丰富的地区, 峨眉冷杉最耐荫湿, 贡嘎山东坡海拔 3 050m 区域的水热条件非常适合峨眉冷杉生长^[8,9]。峨眉冷杉林年凋落量为 $2\ 809.925\ \text{kg}\cdot\text{h}\ \text{m}^{-2}$ (表 5), 其中枯叶占凋落物总量的 74.84%, 峨眉冷杉针叶占绝大多数, 凋落物中的阔叶成分主要是灌木落叶, 二者在 10 月凋落量最大。峨眉冷杉林的凋落物中树木染腐朽病比例较高, 林木枯枝、断梢较多, 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。

表 5 贡嘎山东坡海拔 3 050m 峨眉冷杉年凋落量及其组分($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 5 Amount and composition of the litterfall in the *A. fabri* forest at 3 050m a.s.l.

	阔叶	针叶	地衣苔藓	树皮	枝	冷杉球果	碎屑	合计
5 月	9.752	134.128	4.935	4.873	12.764	1.916	10.744	179.112
6 月	0.089	118.241	13.931	1.931	12.794	1.243	8.567	156.796
7 月	0.796	241.661	12.772	3.75	50.345	1.811	11.417	322.552
8 月	41.914	189.364	25.081	4.959	35.792	2.727	3.695	303.532
9 月	27.869	171.98	28.461	5.627	68.75	0.018	6.323	309.028
10 月	78.881	703.156	13.895	24.872	113.486	0.014	4.516	938.820
11~4 月	7.323	377.822	12.335	6.636	192.546	0.031	3.392	600.085
合计	166.624	1936.352	111.410	52.648	486.477	7.760	48.654	2809.925
百分比(%)	5.93	68.91	3.96	1.87	17.31	0.28	1.73	100

在贡嘎山东坡海拔 3 050m 的峨眉冷杉林凋落物中,针叶的元素含量年动态变化很大。生长季中针叶的 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 含量年变化最大,其它元素含量变化较小。

与常绿与落叶阔叶混交林相比,贡嘎山东坡海拔 3 050m 的峨眉冷杉林凋落物元素年归还量较少(表 6),N、P、K 和有机碳年归还量为 $1\,466.497\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,这种结果不仅是峨眉冷杉林年凋落量较少,还由于占峨眉冷杉林年凋落量 68.91% 的针叶 N、K 含量明显比常绿与落叶阔叶混交林的阔叶少,N 含量约少一半。峨眉冷杉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%,其他成分在年归还量的不同元素中所占比例都较小。生长中的植物体各器官 C 含量较低,凋落物的 C 含量相对较高。林分中各种植物的芽 C 含量很高,苔藓、地衣 C 含量很低;凋落物中枯枝 C 含量很高,苔藓、地衣 C 含量很低,但是,各种组分的差异缩小。

表 6 峨眉冷杉林凋落物元素归还量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

Table 6 Annual elements returns of the litterfall in the *A. fabri* forest

	有机 C	N	P	K	合计
阔叶	73.281	1.700	0.073	0.162	75.216
针叶	1003.224	23.213	1.139	3.699	1031.275
地衣苔藓	50.045	1.058	0.063	0.351	51.517
树皮	24.350	0.260	0.025	0.028	24.663
枝	252.265	2.024	0.117	0.283	254.689
冷杉球果	3.824	0.039	0.004	0.043	3.910
碎屑	24.658	0.392	0.021	0.156	25.227
合计	1431.647	28.686	1.442	4.722	1466.497

3.3 林线峨眉冷杉林

分布在贡嘎山东坡海拔 3 580m 林线附近的峨眉冷杉林林分生物量和生产力都不高^[10],杜鹃和峨眉冷杉叶生物量较高,在总量中所占比例很高,每年有大量的枯叶和枯枝凋落,树木的干物质积累并不多。林线附近的峨眉冷杉林年凋落量为 $2\,908.501\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表 7),其中枯叶占凋落物总量的 78.37%,枯叶中的灌木杜鹃叶占有一定比例,达 22.41%,其它灌木成分很少。峨眉冷杉针叶占大多

数,达 55.96%,与较低海拔的林分相比,乔木的枯叶所占比例下降了许多。

表 7 贡嘎山东坡海拔 3 580m 峨眉冷杉林年凋落量及其组分($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 7 Amount and composition of the litterfall in the *A. fabri* forest at 3 580m a. s. l.

杜鹃叶	针叶	地衣苔藓	花、球果	枝	碎屑	合计
651.702	1627.611	76.390	169.200	346.995	36.603	2908.501
22.41%	55.96%	2.63%	5.82%	11.93%	1.26%	100%

贡嘎山东坡海拔 3 580m 的峨眉冷杉林凋落物中 N、P、K 和有机碳年归还总量为 $1\,524.309\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (表 8)。虽然林分的凋落量较高,但枯叶中 N、P、K 和有机碳含量并不高,所以,峨眉冷杉林凋落物中 N、P、K 和有机碳年归还量较低。

表 8 贡嘎山东坡海拔 3 580m 峨眉冷杉林凋落物元素归还量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

Table 8 Annual elements returns of the litterfall in the *A. fabri* forest at 3 580m a. s. l.

	有机碳	N	P	K	合计
杜鹃叶	353.418	8.016	0.502	0.684	362.620
针叶	811.633	23.428	0.953	1.962	837.976
地衣苔藓	31.325	0.636	0.044	0.024	32.029
花果	86.647	1.049	0.071	0.958	88.725
枝	181.548	1.415	0.086	0.202	183.251
碎屑	18.980	0.437	0.163	0.128	19.708
合计	1483.551	34.981	1.819	3.958	1524.309

4 讨论

森林凋落物量与纬度呈现负的相关关系,海拔高度对森林凋落物的影响同纬度的作用相似,高山森林凋落物由纬度和海拔因子共同决定。Reiners 等人认为最初凋落物量随海拔升高迅速减少^[11],以后变化幅度大大减小,但是,随着海拔的升高,凋落物量呈下降趋势。贡嘎山林线峨眉冷杉林草本层和地被层植物十分简单,生物量很低,树木主根系不发达,它们每年向土壤归还的物质有限,若考虑到这些因素,贡嘎山东坡从海拔 2 200~3 580m 天然林的凋落物总量有明显减少的趋势。垂直带林分乔木层的凋落物在减少,乔木阔叶成分逐步消失,针叶成分从无到有;凋落物中地衣、苔藓所占比例由大到小;

碎屑所占比例趋于减小,表明凋落物中叶质有所变化,机械粉碎作用减弱。

将暗针叶林凋落物中针叶的元素含量与常绿与落叶阔叶混交林的进行比较发现,针叶 N 平均含量较低,阔叶 N 含量较高,在生长季各月常绿阔叶中 N 含量变化趋势与落叶阔叶和针叶的呈明显相反变化趋势;落叶阔叶 P 平均含量较高,而常绿的阔叶和针叶 P 平均含量较低,在生长季各月常绿阔叶中 P 含量变化趋势与落叶阔叶和针叶的呈明显相反变化趋势;落叶阔叶 K 平均含量很高,常绿阔叶 K 平均含量较高,而针叶 K 平均含量较低。将枯叶和树上着生的叶片 N、P、K 含量进行比较,发现不同林分的叶子在凋落过程中营养元素回流程度存在着差异,常绿乔木的阔叶和针叶叶片中的 N、P、K 回流量体内明显,落叶阔叶树在生长季开始时凋落的落叶有一些矿质元素回流,生长季中期和后期回流很少。常绿与落叶阔叶混交林 K 回流较高,但是营养元素回流的总量并不高,峨眉冷杉的针叶中 N 回流较多,营养元素回流的总量也较高,而每年以凋落物方式归还的矿质元最少。随纬度地带性分布的植被叶子在凋落过程中营养元素回流也存在着一定规律^[8],山地植被的叶子在凋落过程中的营养元素回流与纬度地带性分布的植被存在着相同的特点,即随纬度和海拔的升高森林凋落过程中营养元素回流存在增加的趋势。

参考文献(References):

- [1] Bray J R & Gorham E. Litter production in forests of the world. *Advan. Ecol. Res.* 1964, 2:101~157.
- [2] Chen Lingzhi, Huang Jianhui, Yan Rongchang. Nutrient cycles of forest ecosystems in China. Beijing: Weather Publishing Company, 1997. [陈灵芝,黄建辉,严昌荣. 中国森林生态系统养分循环[M]. 北京:气象出版社,1997.]
- [3] John J E. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in Eastern Guatemala. *Journal of Ecology.* 1976, 64:293~308.
- [4] Zhang Qingfei, Song Yongchang, Wu Huaqian, et al.. Dynamics of litter amount and its decomposition in different successional stages of evergreen broad-leaved forest in Tiantong, Zhejiang province. *Acta Phytocologia Sinica*, 1999, 23(3):250~255. [张庆费,宋永昌,吴化前,等. 浙江天童常绿阔叶林演替过程凋落物数量及其分解动态[J]. 植物生态学报. 1999, 23:250~255.]
- [5] Liu Zhaoguang. Vegetation on the Gongga Mountain. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press. 1985. [刘照光. 贡嘎山植被[M]. 四川科学技术出版社. 1985]
- [6] Weng Hong, Li Zhian, Tu Mengzhao, et al.. The production and nutrient contents of litter in forests of Ding Hu Shan Mountain. *Acta Phytocologia et Geobotanica Sinica*. 1993, 17(4):299~304. [翁轰,李志安,屠梦照,等. 鼎湖山森林凋落物量及营养元素含量研究[J]. 植物生态与地植物学学报, 1993, 17(4):299~304.]
- [7] Nye P H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil.* 1961, 13:333~346.
- [8] Liu Zhengli, Fang Jingyun, Piao Shilong. Geographical distribution of species in genera *Abies*, *Picea* and *Larix* in China. *Acta Geographical Sinica*, 2002, 57(5):577~586. [刘增力,朴世龙,方精云. 中国冷杉、云杉和落叶松属植物的地理分布[J]. 地理学报, 2002, 57(5):577~586]
- [9] Guan Zhongtian, Chen Yao, Xu Runqing. A study of the forest types of Ormei fir. *Acta Phytocologia et Geobotanica Sinica*, 1984, 8(2):133~145. [管中天,陈尧,徐润青. 峨眉冷杉林森林类型的研究[J]. 植物生态与地植物学丛刊, 1984, 8(2):133~145]
- [10] Luo Ji, Yang Zhong, Yang Qingwei. A study on the biomass and production of forest on the Gongga Mountain. *Acta Phytocologia Sinica*, 2000, 24(2):191~196. [罗辑,杨忠,杨清伟. 贡嘎山森林生态系统生物量和生产力的研究[J]. 植物生态学报. 2000, 24(2):191~196]
- [11] Reiners W A & Long G E. Change in litterfall along a gradient in altitude. *J. Ecol.* 1987, 75: 629~638.

Characteristic of Forests Litterfall Along Vertical Spectrum on the Gongga Mountain

LUO Ji, CHENG Gen-wei, CHEN Bin-ru, and LI Wei

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

Abstract: This paper explored the quantity, characteristic and nutrient elements returned to soil of forests litterfall along vertical spectrum on the Gongga Mountain. The results showed that the annual average litterfall of the evergreen and deciduous broadleaf forest, the *Abies fabri* forest at 3050 m a. s. l. and the *A. fabri* forest at 3580m a. s. l. averaged 3811.017, 2809.925 and 2908.501 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, respectively; nutrient elements returned to soil of N, P, K averaged 66.577, 34.850 and 40.758 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, respectively. Annual litterfall of arboreal layer in nature forests declined obviously with the temperature and precipitation variation along the ascending of altitude from 2200m to 3580m at the east slope of Gongga Mountain. In the litterfall in arboreal layer, the component of broadleaves died out gradually, the component of needle appears, the component of lichen & moss, Miscellaneous occupied a smaller and smaller proportion.

Key words: Gongga Mountain; *Abies fabri* forest; litterfall