

滇中常绿阔叶林及云南松林凋落物和死地被物中的养分动态*

刘文耀 荆桂芬 和爱军

(中国科学院昆明生态研究所, 昆明 650223)

摘 要

死地被物的数量随着凋落物数量的变化而改变,二者之间存在着动态的平衡。在营养元素的含量水平上,各类森林均表现为死地被物高于凋落物;而且在营养元素含量的排序上也有差异。其中凋落物中营养元素含量的排序在各类森林中为:常绿阔叶林中, $N > Ca > Si > K > Mg > Al > P > Fe > Mn > Zn > Cu$;云南松林中, $Ca > N > Si > K > Al > Mg > Fe > P > Mn > Zn > Cu$ 。而在死地被物中营养元素含量的排序依次改变为:常绿阔叶林中, $Si > N > Al > Ca > Fe > K > Mg > Zn > Cu$;云南松林中, $Si > Al > N > Ca > Fe > K > Mg > P > Mn > Zn > Cu$ 。森林凋落物进入地表,随着分解程度的增加(从林下L层转变成F、H层),其中灰分、Si及Al有显著的增加,N、Fe、P和K也有不同程度的增加,但Ca、Mg和Zn则出现下降的趋势,Mn、Cu含量的变化规律不明显。C/N值随着凋落物分解程度的增加而下降,且随分解程度的进一步增加(从F层转变到H层),C/N值的变化幅度逐渐变小。

关键词 常绿阔叶林;云南松林;凋落物;死地被物;营养元素

NUTRIENT DYNAMICS IN THE LITTER-FALL AND FOREST FLOOR OF EVERGREEN BROAD-LEAVED FOREST AND *PINUS YUNNANENSIS* FOREST IN CENTRAL YUNNAN

Liu Wen-yao, Jing Gui-fen and He Ai-jun

(Kunming Institute of Ecology, Academia Sinica, Kunming 650223)

Abstract

The quantity of litter-fall and the standing crop of H sublayer in the forest floor of evergreen broad-leaved forest were higher than that of *Pinus yunnanensis* forest. The quantity of the forest floor changed with the quantity of litter-fall, and

本文于1989年4月收到,1989年7月收到修改稿。

* 本项工作得到刘伦辉副研究员的热情指导,谨此致谢。

thera was a dynamic equilibrium between the litter-fall and forest floor. The content of nutrient elements of the forest floor was higher than that of litter-fall in both types. The order of nutrient element content in the forest floor differed from that in litter-fall. In the evergreen broad-leaved forest, the order was $N > Ca > Si > K > Mg > Al > P > Fe > Mn > Zn > Cu$, and in *Pinus yunnanensis* forest it was $Ca > N > Si > K > Al > Mg > Fe > P > Mn > Zn > Cu$. But the order of nutrient element content in the forest floor had changed: in evergreen broad-leaved forest it was $Si > N > Al > Ca > Fe > K > Mg > P > Mn > Zn > Cu$, the *Pinus yunnanensis* forest it was $Si > Al > N > Ca > Fe > K > Mg > P > Mn > Zn > Cu$. With increase in the intensity of litter decomposition Ash, Si and Al had obviously increased, N, Fe, P and K had also increased in varying degrees, but there was some reduction in Ca, Zn and Mg. The ratio of carbon and nitrogen in litter decreased with increase in litter decomposition.

Key words Evergreen broad-leaved forest; *Pinus yunnanensis* forest; Litter-fall; The forest floor; Nutrient element

有关森林枯枝落叶分解过程中营养元素的动态变化,国外已有较多的报道^[4-8]。我国在这方面的研究报道较少。本文以滇中高原为背景,研究了山地常绿阔叶林及云南松林凋落物、死地被物平均干物质重量和主要营养元素的含量,以及在分解过程中营养元素的动态变化规律,旨在为本地区制定造林、营林措施提供科学依据。

试 验 地 概 况

本研究选择在能代表滇中基本情况的通海县秀山公园内进行。该区地处低纬高原,气候特点为四季冷暖不明,但干湿季节则明显,年均温 15.6℃,年平均降雨量 869.2 mm,年平均相对湿度 74%,属于中亚热带半湿润冬暖夏凉的高原季风气候。土壤为山地红壤。

试验林地均设置在秀山的东北坡,海拔 1920—2000m,森林保护良好。半湿润山地常绿阔叶林位于山坡下部,林分主要树种为滇青冈 (*Cyclobalanopsis glaucoides*)、元江栲 (*Castanopsis orthacantha*)、野樱 (*Prunus conradinae*)、云南樟 (*Cinnamomum glanduliferum*) 等,高 20m 左右,林分郁闭度约 0.6。林下幼树和灌木有滇木犀榄 (*Olea yunnanensis*)、滇青冈及铁齿铁子 (*Myrsine semiserrata*)、山柑 (*Capparis bodinieri*) 等。草本植物主要有苔草 (*Carex* sp.)、沿阶草 (*Ophiopogon bodinieri*)、丰产鳞毛蕨 (*Dryopteris fructuosa*) 等。云南松林分布于山坡上部,按其树龄大小及林内伴生树种不同,分为二类群落: 第一类云南松群落年龄 30—40 年,树高 15—18m,胸径 15—20cm,林相整齐。林内伴生有少量的滇合欢 (*Albizia mollis*)、华山松 (*Pinus armandii*) 等,郁闭度 0.6。林下灌木有小铁仔 (*Myrsine africana*)、厚皮香 (*Ternstroemia gymlosperma*)、云南含笑 (*Michelia yunnanensis*) 等。草本植物主要有刺芒野枯草 (*Aru-*

ndinella setosa)、云南兔儿风 (*Ainsliaea yunnanensis*)、野拔子 (*Elsholtzia rugulosa*) 等。第二类云南松群落年龄 40—60 年, 树高 15—25m, 胸径 20—40cm, 伴生树种有元江栲、滇石栎 (*Lithocarpus dealbatus*)、滇油杉 (*Keteleeria evelyniana*) 等, 郁闭度 0.6。灌木层中以爆仗花杜鹃 (*Rhododendron spinuliferum*)、珍珠花 (*Lyonia ovalifolia*)、小铁仔等为主。草本植物主要有四脉金茅 (*Eulalia quadrinervis*)、刺芒野枯草、云南兔儿风等。为了以下论述方便, 把两类云南松林分别称为云南松群落 I (即第一类) 和云南松群落 II (即第二类)。

以上三类森林群落林下枯枝落叶较多, 平均厚 3—5cm。

研究内容及方法

在以上三类森林群落中各设 $50 \times 50\text{m}^2$ 的标准地, 并开展如下项目的研究: 1. 在标准地内各设置 10 个 0.5m^2 的枯枝落叶收集框, 定期收集森林凋落物, 并按叶、枝、皮、花果分类, 由虫屎、鸟粪、虫卵和蛹及其它碎小杂物统归为一类。2. 在一年中分 5 月和 10 月两次在各林分内分别收取各 10 个 $0.5 \times 0.5\text{m}^2$ 小样方内死地被物层中的枯枝落叶, 并按 L、F 和 H 分层^[2], 将枯枝落叶于 105°C 下烘干至恒重, 统计出各森林群落死地被物层中各分层的干重。3. 在各林地内分别采取死地被物层下矿质表土若干。最后, 抽取部分凋落物、死地被物层各分层的样品及土壤样品, 经烘干磨碎后进行化学分析。

枯枝落叶及土壤有机质用重铬酸法测定, N 用半微量凯氏法测定; 各分析样品经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--HClO}_4$ 消化后用原子吸收分光光度仪 (HITAC-HI170-30 型) 测定 K 含量; 用钼钒黄比色法测定 P 含量, 用等离子发射光谱仪 (PLASMA-200 型) 测定 Ca、Mg、Mn、Al、Fe、Zn 和 Cu 含量。枯枝落叶中灰分用于灰化法测定, Si 用重量法测定。

结果与分析

(一) 森林凋落物的组成、数量及营养元素

不同类型的森林, 其凋落物的数量、组成及其营养元素的含量各不相同。据连续两年 (1986 年 5 月至 1988 年 6 月) 的测定结果 (表 1), 在三类森林中, 以常绿阔叶林的凋落量

表 1 各类森林凋落物的组成及其数量 (t/ha)

Table 1 The composition and the amount of litter-fall in different types (t/ha)

类型 Types	叶 Leaves	枝 Branches	皮 Bark	花果 Flower and fruit	虫屎及其它 Mixed matter	合计 Total
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	4.10	0.91	0.04	0.03	0.47	5.55
云南松群落 I <i>Pinus yunnanensis</i> community I	2.87	0.15	0.17	0.28	0.15	3.62
云南松群落 II <i>Pinus yunnanensis</i> community II	3.72	0.56	0.20	0.22	0.26	4.96

最大,云南松群落 II 次之,云南松群落 I 最小。三类森林均在 4—5 月和 11—12 月出现两个高峰, 占年总凋落量的 50—60%。在凋落物的组成中均以落叶的数量最高, 占年总量的 70—80%, 其它成分组成中小枝在常绿阔叶林中较多, 皮脱落量在云南松林中较多。同样, 也是以落叶的营养元素含量最高, 其中常绿阔叶林落叶中营养元素贮量占总量的 72%。云南松林针叶占 80—83%。这些山地森林凋落物中由虫屎、鸟粪, 虫卵、蛹等组成的杂碎物不仅数量较多, 而且营养元素含量也很高, 据统计, 在常绿阔叶林中这些杂碎物的营养元素贮量占总量的 10.1%, 其中它的 N 素贮量占凋落物的 N 总贮量的 13.3%; 云南松林凋落物中杂碎物相应占 5.8% 和 9.6%。

在凋落物的营养元素含量上, 针、阔两类森林有着明显的差异(图 1), 所测定的 12 种元素中大多数元素的含量阔叶林大于针叶林, 以云南松林凋落物的元素含量(云南松群落 I、II 的平均值)为 100%, 则阔叶林凋落物含量 N 为 206.50%, P 为 146.26%, K 为 123.71%, Ca 为 155.42%, Mg 为 127.50%, Zn 为 130.95%, Mn 为 126.20%, Cu 为 275.90%, 灰分为 125.79%, 而 Al、Si 及 Fe 含量在云南松林凋落物中较高。根据各种元素含量的高低, 它们在各类森林凋落物中的排序是: 常绿阔叶林中, $N > Ca > Si > K > Mg > Al > P > Fe > Mn > Zn > Cu$; 云南松林中, $Ca > N > Si > K > Al > Mg > Fe > P > Mn > Zn > Cu$ 。

比较两类云南松群落凋落物中营养元素含量的大小, 可以看出林龄较小的云南松林群落 I 凋落物中营养元素含量高于林龄较大的云南松群落 II 的相应含量, 呈现出随着林龄及年凋落量的增加, 云南松林凋落物中营养元素含量有所降低的趋势。

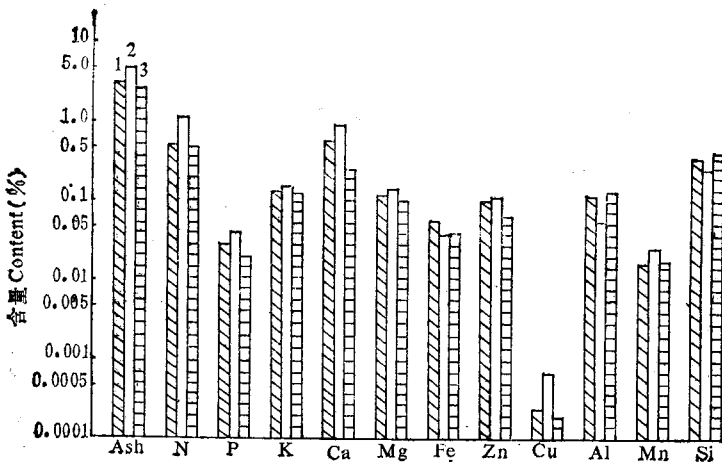


图 1 不同类型森林群落凋落物中营养元素的含量

1. 云南松群落 I 2. 云南松群落 II 3. 常绿阔叶林

Fig. 1 The content of nutrient elements in litter-fall of different types

1. *Pinus yunnanensis* community I 2. *Pinus yunnanensis* community II

3. Evergreen broadleaved forest

(二) 死地被物的现存量及其营养元素含量

1. 各类森林死地被物的现存量

森林每年凋落的枯枝落叶逐渐在地表堆积形成一层松软的死地被物层。根据枯枝落叶的分解程度及其结构,可把死地被物层分成 L、F 和 H 三个亚层: L 层保持着凋落物的原状,但有少量的白色菌丝体,无光泽; F 层由褐色的叶、枝碎片或块组成,呈半腐状层积,有较多的菌丝体; H 层为已分解的疏松腐殖质。在常绿阔叶林的死地被物层中, L 和 F 亚层的比例较小, H 亚层松软,粒状结构,与矿质土层的界线不明显,蚯蚓、蚂蚁等小动物较多。在云南松林的死地被物层中, L 和 H 亚层的比例较大, H 亚层分解不良,结构紧密,与矿质土层有明显的界线,土壤中小动物较少。有关各类森林死地被物层的现存量见表 2。

表 2 各类森林死地被物层的干重 (t/ha)

Table 2 The dry weight of every sublayer in the forest floor in different types (t/ha)

类 型 Types	项目 Items	L	F	H	Total
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	干重 Dry weight	5.76	7.47	11.38	24.61
	%	23.41	30.35	46.24	100
云南松群落 I <i>Pinus yunnanensis</i> community I	干重 Dry weight	5.44	8.37	7.78	21.59
	%	25.20	38.77	36.03	100
云南松群落 II <i>Pinus yunnanensis</i> community II	干重 Dry weight	7.05	12.03	9.87	28.95
	%	24.35	41.55	34.10	100

据观测结果表明,由于本区干湿两季气候条件及森林凋落量的差异明显,因而造成在一年中干湿两季林下死地被物层的各亚层数量有所不同。在常绿阔叶林的死地被物中, L、F 和 H 三亚层的变幅为: 4.56—6.96t/ha, 6.22—8.72t/ha 和 10.15—12.61t/ha; 云南松群落 I 相应为 4.83—6.05t/ha, 7.05—9.69t/ha 和 6.97—8.59t/ha; 云南松群落 II 相应为 6.16—7.94t/ha, 10.75—13.31t/ha 和 8.87—10.87t/ha。

2. 各类森林死地被物中营养元素含量的变化

1) L 亚层的枯枝落叶与凋落物的比较: 关于 L 亚层枯枝落叶与凋落物的区分,过去未有报道。根据我们的研究结果,两者存在着一定的差异。据观察,在滇中地区,云南松及壳斗科属植物的叶凋落物在凋落后的较长时间内仍保持原状,因此, L 亚层不仅包括新凋落的枯枝落叶,而且还包括那些在死地被物层上堆积较长时间而未腐烂破碎的枯枝落叶。然而,由于微生物的作用及受外界因素的影响, L 亚层枯枝落叶的营养元素含量已有所改变,与新凋落物相比, N、P、K 等元素含量有所增加,而 Ca、Mg 等元素有所下降(表 3、4)。

2) 死地被物各亚层及矿质土表层中营养元素含量的变化: 从所研究的三类森林林下 L、F 和 H 亚层以及矿质土表层的 C/N 值及其变化趋势来看(表 3),常绿阔叶林死地被物的 C/N 值小于云南松林的相应值,说明常绿阔叶林死地被物的无机化程度高于云南松林。C/N 值在各亚层的变化表现为逐层下降,但是,随着枯枝落叶分解程度的进一步加强(从 F 亚层转变到 H 亚层), C/N 值的变幅逐渐变小,由此说明死地被物中枯枝落

表 3 各类森林死地被物层各亚层及矿质土表层的碳氮比

Table 3 The ratio of carbon and nitrogen of every sublayer in the forest floor and mineral soil surface layer in different types

类 型 Types	层次 Layer	深度 Depth (cm)	有机碳 Organic carbon (%)	N%	C/N
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forset	L	0—2	37.81	1.038	36.43
	F	2—4	30.07	1.319	22.80
	H	4—6	22.48	1.295	18.14
	A ₁ ¹⁾	6—13	2.91	0.242	12.03
云南松群落 I <i>Pinus</i> <i>yunnanensis</i> community I	L	0—2	32.33	0.540	59.87
	F	2—4	20.29	0.848	23.93
	H	4—5.5	17.78	0.881	20.18
	A ₁ ¹⁾	5.5—10	1.44	0.101	14.30
云南松群落 II <i>Pinus</i> <i>yunnanensis</i> community II	L	0—2	34.57	0.528	65.47
	F	2—5	23.18	0.821	28.23
	H	5—6.5	19.96	0.874	22.84
	A ₁ ¹⁾	6.5—10	1.49	0.093	16.03

1) A₁ 表示矿质土壤表层。1) A₁ denore mineral soil surface layer.

表 4 各类森林死地被物层各亚层及矿质土表层的营养元素含量*

Table 4 The element content of every sublayer in the forest floor and mineral soil surface layer in different types

类型 Types	层次 Layers	深度 Depth (cm)	Ash	Si	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	Zn	Cu
			%										ppm
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	L	0—2	6.894	0.849	0.053	0.180	0.937	0.121	0.036	0.054	0.190	0.019	8.25
	F	2—4	18.166	5.442	0.056	0.303	0.921	0.198	0.047	0.549	0.948	0.021	8.65
	H	4—6	22.681	7.273	0.061	0.334	0.903	0.173	0.061	0.659	1.437	0.017	12.85
	A ₁	6—13	—	28.524	0.023	0.024	2.048	0.234	—	—	—	—	—
云南松群落 I <i>Pinus</i> <i>yunnanensis</i> community I	L	0—2	3.819	0.385	0.044	0.130	0.595	0.149	0.018	0.052	0.138	0.014	12.49
	F	2—4	20.600	6.258	0.050	0.207	0.536	0.202	0.029	0.468	0.765	0.015	11.20
	H	4—5.5	27.953	8.558	0.047	0.205	0.474	0.169	0.029	0.543	0.993	0.007	3.76
	A ₁	5.5—10	—	24.059	0.021	0.033	1.468	0.221	—	—	—	—	—
云南松群落 II <i>Pinus</i> <i>yunnanensis</i> community II	L	0—2	3.509	0.388	0.040	0.118	0.360	0.131	0.032	0.056	0.125	0.038	1.10
	F	2—5	16.467	4.909	0.048	0.234	0.362	0.143	0.025	0.489	0.972	0.032	4.47
	H	5—6.5	26.275	8.969	0.045	0.233	0.172	0.127	0.015	0.668	1.323	0.030	5.65
	A ₁	6.5—10	—	25.585	0.020	0.031	1.286	0.186	—	—	—	—	—

* 表中 A₁ 同表 3。A₁ is the same meaning as A₁ in the table 3.

叶的分解都是前期快后期慢,这种变化在云南松林中较为显著。C 含量的变化随枯枝落叶分解程度的增加而下降,而 N 含量则有所增加。同时,灰分及 Si 含量也有明显的增加(表 4)。

其它矿质元素在死地被物中的含量多属微量水平。由表 4 可看出,在三类森林中,由 L 亚层到 H 亚层,枯枝落叶分解程度增加,Al、Fe 的含量有明显的增加,P、K 也略有增

表 5 各类森林死地被物层中营养元素的贮量 (kg/ha)
Table 5 The element pool of every sublayer in the forest floor in different types (kg/ha)

类 型 Types	层次 Layers	Ash	C	Si	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Total
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	L	397.09	2177.86	48.90	59.79	3.05	10.37	53.97	6.97	2.07	3.11	10.94	1.09	0.05	2775.26
	F	1357.00	2246.23	406.52	98.53	4.18	22.63	68.80	14.79	3.51	41.01	70.82	1.57	0.06	4335.65
	H	2581.10	2558.22	827.67	147.37	6.94	38.01	102.76	19.69	6.94	74.99	163.53	1.93	0.15	6529.30
云南松群落 I <i>Pinus yunnanensis</i> community I	L	207.75	1758.75	20.94	29.38	2.39	7.07	32.37	8.11	0.98	2.83	7.51	0.76	0.07	2078.91
	F	1724.22	1698.27	523.79	70.98	4.19	17.33	44.86	16.91	2.43	39.17	64.03	1.26	0.09	4207.53
	H	2174.74	1383.28	665.81	68.54	3.66	15.95	36.88	13.15	2.26	42.25	77.26	0.54	0.03	4484.35
云南松群落 II <i>Pinus yunnanensis</i> community II	L	247.38	2437.19	27.35	37.22	2.82	8.32	25.38	9.24	2.26	3.95	8.81	2.68	0.01	2812.61
	F	1980.98	2788.55	590.55	98.77	5.77	28.15	43.55	17.20	3.01	58.83	116.93	3.85	0.05	5736.19
	H	2593.34	1970.05	885.24	86.26	4.44	23.00	16.98	12.53	2.47	65.93	130.58	2.96	0.06	5793.84

加,而 Ca、Zn 和 Mg 含量则出现下降的趋势, Mn、Cu 的变化规律不明显。但是,与死地被物层相比较,矿质土层 (A_1 层) 中 N、P、K 等元素的含量显得较低,而 Ca、Mg 的含量则较高。

本研究结果,滇中常绿阔叶林及云南松林下死地被物层枯枝落叶分解中营养元素含量的变化情况,与美国的红云杉 (*Picea ruben*) 林^[7]、黄松 (*Pinus ponderosa laus*) 林^[5]、苏联的山毛榉林^[4] 等林分死地被物层的枯枝落叶分解过程中营养元素含量的变化规律相似。

除了各类森林死地被物层间营养元素含量有差异外,在营养元素含量的排序上也各异,而且与各自林分凋落物相比其排序已发生改变。在常绿阔叶林中,其死地被物中营养元素含量的排序改变为 $Si > N > Al > Ca > Fe > K > Mg > P > Mn > Zn > Cu$; 而云南松林相应地改变为 $Si > Al > N > Ca > Fe > K > Mg > P > Mn > Zn > Cu$ 。

(三) 死地被物中营养元素的贮量

由表 5 可看出,不同森林类型和各林下死地被物的不同亚层,其营养元素的贮量差别较大。以死地被物中营养元素的总贮量进行比较,常绿阔叶林明显地高于云南松林,在两类云南松群落中则以云南松群落 II 为高。在各亚层中,常绿阔叶林中以 H 层的贮量最高,约占总贮量的 48%,云南松林中营养元素则主要积累于 F 和 H 亚层中。比较死地被物层中各营养元素的贮量,灰分、C 素及 Si 在三类森林中均具有很高的贮量,且各类型间差异不大。N、P、K、Ca、Mg 等元素的贮量均以阔叶林为高,且以 H 亚层的贮量最高; Fe、Al 在云南松林中的贮量较高。Mn、Zn 和 Cu 在三类森林死地被物中的贮量都很低,尤其是 Cu 的贮量不足 1kg。除灰分、C 素及 Si 以外,针、阔两类森林死地被物中均以 N、Al 的贮量最高,其次为 Ca、Fe 和 K,表现出有一定的相似。

讨 论

在连续两年对以上三类森林的年凋落量及死地被物层现存量的观测结果表明,死地被物层的数量随着森林年凋落量的变化而改变。在滇中地区,四季冷暖不明显,但干湿两季则非常明显。干季空气及土壤湿度都很低,温度相对较低,不利于土壤微生物活动,分解作用较弱,并且森林凋落物多集中在干季。因此,死地被物的数量较大。雨季温暖潮湿,分解作用强烈,凋落量少,这样死地被物层积累较少。在年际间凋落量与死地被物层数量也存在类似的关系。在干物质数量上,二者间存在动态平衡的关系。此外,死地被物层现存量与凋落物的性质、林地表微环境和微生物区系及其活动等也密切相关,从观测结果可知,常绿阔叶林位于湿度较高(其土壤含水量比云南松林地高 20—45%¹⁾) 的山坡下部,凋落物养分高,利于微生物活动及有机质分解。而云南松林生长于较干燥的山坡上部,凋落物养分含量低,且死地被物层呈酸性 (pH 值 4.5—5.0) 反应,在一定程度上抑制了微生物活动及有机质的分解。因此,虽然常绿阔叶林年凋落量要大于云南松林,但其死地被物层的现存量与云南松林的接近,甚至还小于云南松林。根据死地被物层现存量与年凋落量的关系,我们估算出常绿阔叶林死地被物层的分解率为 22.6%,周转期为 4.4 年,

1) 刘文耀等:滇中常绿阔叶林及云南松林水文效应的初步研究(待发表)。

云南松林相应为 16.8—17.1% 和 5.8—6.0 年。

森林凋落物进入土壤后,在微生物的活动和环境因素的影响下逐渐被分解和转化。许多研究表明,分解是一个释放和积累元素的过程,它包括淋溶、累积及转化三个阶段。本研究对凋落物及死地被物层中不同分解程度的枯枝落叶进行化学分析的结果表明,随着枯枝落叶分解程度的增加,灰分及 Si 增加很快,这主要是分解过程中有机成分特别是有机 C 的丧失所致。并且,在分解过程中 N、Fe 和 Al 的含量有明显的增加,P、K 也有增加,但 Ca、Mg 和 Zn 等元素的含量则下降。关于分解中某些营养元素含量增加的原因,目前有较一致的看法:一是由非生物因素主要从大气降水加到死地被物层中的营养元素,据 Bocok 测定结果(1963)^[2],来自大气降水的 25% 的 N 被栎树林凋落物吸附,陈灵芝等(1988)^[1]认为雨水及冠流中大多数营养元素的含量均较高。通过林冠淋溶下来的营养元素,其中一部分就被死地被物层吸附。二是森林生态系统内部的生物作用。从观测结果可知,在三类森林凋落物的组成中,由虫屎、卵、蛹,昆虫尸体及鸟粪组成的杂碎物不仅数量较多,而且营养元素的含量高;此外,死地被物层及表土层中小动物(如蚯蚓、蚂蚁、螨类等)及微生物很丰富,这些生物体内及其卵、蛹、粪便、尸体等营养元素含量也很高。傅懋毅等(1989)^[3]认为毛竹枯叶在分解过程中,N、P、K 等元素有一个较长的累积阶段,原因是这些元素含量太低而被土壤微生物吸收存留于体内,但 Ca、Mg 等元素的含量达到或超过了微生物生存所需的浓度而很快被矿化向土壤释放。就所研究三类森林而言,其枯枝落叶分解过程中营养元素含量的增加和降低也都是由于生物和非生物的作用所造成的。

苏联的 Ямковой 提出,可用死地被物元素含量与凋落物元素含量之比(该值称为死凋系数)^[4]来说明森林营养元素循环的强度。死凋系数小,说明营养元素循环的强度大,生境较好,反之亦然。我们用死地被物层中枯枝落叶的营养元素含量与凋落物营养元素含量之比¹⁾,计算了三类森林的死凋系数:常绿阔叶林为 1.33,云南松群落 I 和 II 分别为 2.11 和 2.25,显然,阔叶林明显大于针叶林。说明常绿阔叶林枯枝落叶的营养元素循环强度高,生境好,云南松林则相对差些。

枯枝落叶是森林土壤中有机质及营养元素的主要来源。根据阔叶林枯枝落叶养分含量高,易于分解及营养元素循环强度高的特点,在造林措施上应选择适宜的树种,营造针阔混交林;在已形成的云南松纯林中,引进或栽培阔叶树种,改良林分结构,从而改变凋落物的成分,加速微生物的分解,提高林地土壤肥力。其次,根据枯枝落叶在分解过程中,一些大量元素在其向土壤释放前有一个较长的累积阶段的特性,为了提高林地土壤肥力,应注意保存林下死地被物层,以保证使凋落物中的营养元素全部归还到土壤中去。

参 考 文 献

- [1] 陈灵芝、缪有贵、孔繁志、陈清朗、胡舜慧、鲍显诚,1988: 北京人工侧柏林的化学元素含量特征。植物学报, 30: 539—548。
- [2] 阿姆森, K. A. 著(林伯群、周重光译), 1984: 森林土壤性质和作用。科学出版社, 北京, 1—46 页。
- [3] 傅懋毅、方敏瑜、谢锦忠、陈艳芳、王惠雄, 1989: 竹林养分循环 I. 毛竹纯林的叶凋落物及其分解。林业科学

1) 营养元素包括: Si、N、P、K、Ca、Mg、Fe、Al、Mn、Zn、Cu。

研究, 2: 207—213。

- [4] ЯМКВОЙ, В. Т., 1986: 枯枝落叶层在山毛榉林营林元素生物循环中的作用。林业文摘, (2): 31—32。
- [5] Bock, K. L., 1963: Changes in the amount of nitrogen in decomposing leaf litter of sessile oak (*Quercus petraea*). *J. Ecol.*, 51: 555—566.
- [6] Klemmedson, J. O., 1987: Influence of oak in pine forest of central Arizona on selected nutrients of forest floor and soil. *Sci. Soc. Amer. J.*, 51: 1623—1628.
- [7] Lockaby, B. G. and J. E. Taylorboyd, 1986: Nutrient dynamics in the litter fall and forest floor of an 18-yr-old loblolly pine plantation. *Can. J. For. Res.*, 16: 1109—1112.
- [8] Rustad, L. E. and C. S. Cronan, 1988: Element loss and retention during litter decay in a red spruce stand in Maine. *Can. J. For. Res.*, 18: 947—953.