

哀牢山中山湿性常绿阔叶林凋落物和 粗死木质物的初步研究*

刘文耀 谢寿昌 谢克金 杨国平

(中国科学院昆明生态研究所, 昆明 650223)

摘 要

中山湿性常绿阔叶林是我国山地常绿阔叶林中一个重要而特殊的类型。云南哀牢山原生中生湿性常绿阔叶林的小凋落物量(叶、直径 < 2.5 cm 枝、花果和杂物)为 (6.77 ± 1.43) t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 大枯枝(直径 ≥ 2.5 cm)凋落量为 (0.45 ± 0.18) t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 凋落高峰发生在干季末期4~5月和初冬时10~11月。由倒木、枯立木和大枯枝等组成的粗死木质物在该类森林中的现存量达 98.46 t/ hm^2 , 其中倒木占其总量的85.8%, 且它们在林内分布不均匀, 增加了森林生态系统结构和生境的多样性。粗死木质物是森林中重要的养分库, 其中的C、N、P、K、Ca、Mg、Mn、Al和Fe元素的总贮量达到 48699 t/ hm^2 , 每年通过凋落物方式积累于林地表的养分元素只占其总量的7.77%。

关键词 中山湿性常绿阔叶林; 凋落物; 粗死木质物

PRELIMINARY STUDIES ON THE LITTERFALL AND COARSE WOODY DEBRIS IN MID-MOUNTAIN HUMID EVERGREEN BROAD-LEAVED FOREST IN AILAO MOUNTAINS

Liu Wen-yao, Xie Shou-chang, Xie Ke-jin and Yang Guo-ping

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

Abstract

The composition and amount of the litterfall and coarse woody debris (CWD), their time and space distribution and the element return were studied in mid-mountain humid ev-

收稿日期:1994-01-13 接受日期:1994-04-18

* 国家自然科学基金资助项目和云南省自然科学基金资助课题。

evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountain in Yunnan, China. The average litterfall (leaves, wood (< 2.5 cm diameter), flower, fruit and mixed matter) was (6.77 ± 1.43) t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) while the large wood litterfall (≥ 2.5 cm diameter) was (0.45 ± 0.18) t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$). There were two marked peaks of annual litterfall, the main one from April to May and the second one from October to November. The standing crop of CWD in the forest was 98.46 t/ hm^2 , in which logs made up to 85.8% of the total. As the CWD was not well-distributed in the forest, it increased the diversities of structure and site in the forest ecosystem. The total storage of C, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Al and Fe in the CWD was 48699 t/ hm^2 , but return of elements to the forest ground in the litterfall only made up 7.77% of the nutrient storage of the CWD.

Key words Mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest; Litterfall; Coarse woody debris

在人为干扰少的天然老龄林中,由倒木、枯立木、大枯枝等组成的粗死木质物(coarse woody debris)及枯枝落叶是森林生态系统的重要组成部分。它们中贮存有大量的营养物质,是天然林中重要的养分库;而且,由于粗死木质物在林内分布的不均匀性,给生态系统增添了结构和生境多样性,以及生物多样性和功能多样性^[1~8]。因此,已越来越引起国际上许多学者的高度重视。在国内有关森林粗死木质物方面的研究还开展得不多,且多集中于长白山温带森林类型。本文以云南哀牢山自然保护区的主要森林类型——原生中山湿性常绿阔叶林为对象,研究该类森林中凋落物组成和数量;倒木、枯立木及大枯枝(直径 ≥ 2.5 cm)的数量和空间分布格局,以及它们中养分元素的含量及其贮量,为进一步深入开展本地区森林生态系统结构和功能的动态监测研究,合理地保护和利用森林资源提供科学依据。

1 自然概况

研究地点位于云南哀牢山自然保护区核心区的徐家坝地区,约北纬 $24^{\circ}32'$,东经 $101^{\circ}01'$,海拔 $2400 \sim 2600$ m。受来自印度洋的西南季风影响,降水丰沛,年平均降雨量 1841 mm,相对湿度 86% 。年平均气温 10.7 $^{\circ}\text{C}$,最冷月(1月)平均气温 4.7 $^{\circ}\text{C}$,最热月(7月)平均 16.4 $^{\circ}\text{C}$,最低气温极值 -8 $^{\circ}\text{C}$,全年无霜期 180 d,表现出终年温凉潮湿的气候特点。

以木果石栎(*Lithocarpus xylocarpus* Markg)为标志的哀牢山中山湿性常绿阔叶林是徐家坝地区分布面积(近8万余亩)最大、保存最好的原生植被。据测定,乔木层高 $20 \sim 25$ m,胸径 $30 \sim 40$ cm,除木果石栎外,还有相当数量的绿叶润楠(*Machilus viridis* Hand.-Mazz)、腾冲栲(*Castanopsis wattii* A. Camus)、红花木莲(*Manglietia insignis* Blume)、滇木荷(*Schima noronhae* Reinw)、舟柄茶(*Hartia sinensis* Dunn)、景东石栎(*L. jingdongensis* Hsu et H. J. Qian)等,林相完整,树干密布苔藓,林冠郁闭。林下灌木层以箭竹(*Sinarundinaria nitida* Nakai)为主,层盖度 $60\% \sim 70\%$,草本层主要由滇西瘤足蕨(*Plagiogyria com-*

munis Ching)、细梗苔草(*Carex teinogyna* Boott)等组成。地表枯枝落叶层平均厚 5~7 cm。林内倒木、枯立木和大枯枝数量多,分布不均匀。林地土壤为山地黄棕壤,pH 4.3,有机质含量 9%~12%。林地表枯枝落叶只有小部分分解为腐殖质,而多数还以粗腐殖质状态存在。

2 研究方法

2.1 森林凋落量测定

在 50 m×50 m 的标准地内,设置 13 个面积各为 1 m² 的枯枝落叶收集框,每月末收集框内的凋落物,并按叶、枝、花、果及杂物分类,并烘干称重。与此同时,在林地表上分别用竹杆围成 5 个面积各为 2 m×4 m 的大枯枝收集区,在月末收集大枯枝,并烘干称重。

2.2 林内倒木、枯立木及大枯枝现存量测定

对标准地内的活立木和枯立木按种类分别进行胸径和树高测定,根据测定结果,应用邱学忠等^[9]的相对生长式计算出各类立木的现存量。地表倒木和大枯枝现存量的测定是在标准地附近,设立两条长各为 50 m,呈“+”字交叉的标准线,在每条线上每隔 10 m 设置 1 个 2 m×2 m 的小样方,两条线上共设样方 10 个,分别收集各小样方内的大枯枝、倒木(用锻锯割取),然后称重,并分别取样带回室内烘干,统计出各部分的干重。

2.3 化学元素含量的测定

取以上各部分的样品,经过烘干和粉碎。有机质用重铬酸法,N 用扩散吸收法,P 用钒钼黄比色法,K 用原子吸收分光光度法,Ca、Mg、Mn、Al 和 Fe 用高频等离子体发射光谱仪测定。

3 结果和分析

3.1 森林凋落量及其季节变化

根据 1991~1993 年连续 3 年的观测结果(表 1),哀牢山徐家坝地区中山湿性常绿阔叶林年平均凋落量为 6.77 t/hm²,年变幅为 5.24~8.06 t/hm²,变异系数为 21.0%。其中以落叶、落枝的年变幅较大,分别为 3.56~5.77 t/hm² 和 0.83~1.33 t/hm²,变异系数分别达 23.5%和 22.8%。

表 1 哀牢山中山湿性常绿阔叶林凋落量(t/hm²)

Table 1 Litterfall (t/hm²) in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains

年份 Years	叶 Leaves	小枝 Small branch	花果 Flowers and fruits	杂物 Mixed-matter	合计 Total
1991	3.560	0.832	0.753	0.098	5.243
1992	5.770	1.329	0.864	0.100	8.063
1993	4.923	1.134	0.835	0.122	7.014
标准偏差 Standard deviation	1.115	0.250	0.058	0.013	1.425
变异系数 Coefficient of variation	23.5%	22.8%	7.1%	12.2%	21.0%

在凋落物组成上,叶、枝分别占凋落物总量的 70.18%和 16.17%,花果组分占 12.07%,其中落果量较多。其它杂物仅占 1.58%。

本区中山湿性常绿阔叶林在一年中有两个凋落高峰(图 1)。第一高峰发生在干季的 4~5 月,其凋落量占年总量的 28.3%;另一高峰则出现于初冬时的 10~11 月,凋落量占年总量的 25.7%,这与滇中半湿润常绿阔叶林的凋落节律^[10]相似,而与广东鼎湖山南亚热带常绿阔叶林 3 月和 7 月两个凋落高峰^[11]有所不同。从图 1 中可看出,叶和枝的凋落量变化与总量基本一致,并决定了总凋落量的年变化。花凋落主要集中在 2~5 月,果凋落集中于 5~10 月。

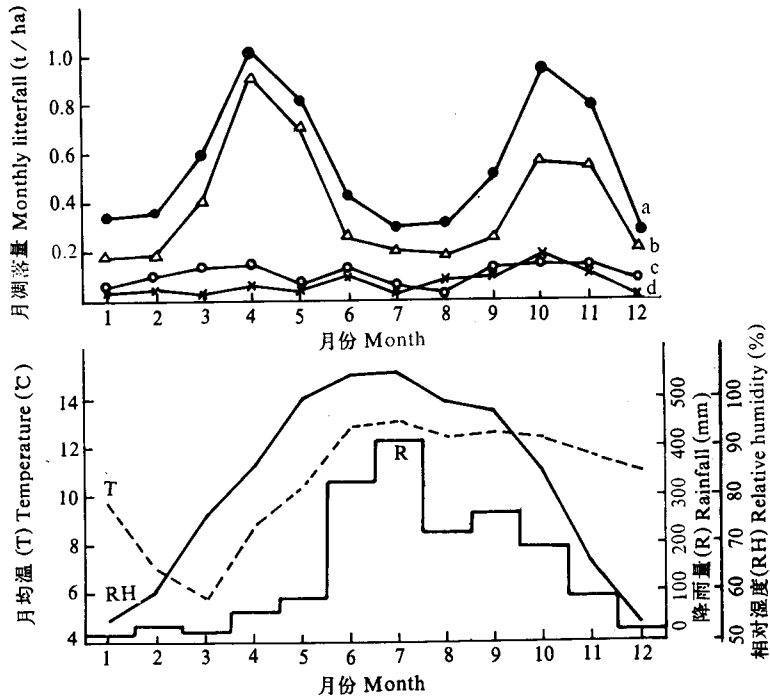


图 1 哀牢山中山湿性常绿阔叶林凋落物各成分及气象要素的月变化 (1991~1993 年各月的平均值)

a. 小凋落物总量 b. 叶 c. 枝 d. 花果

Fig. 1 Monthly changes of components of litterfall in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest and climatic factors in Ailao Mountains (Monthly mean of three years from 1991 to 1993)

a. Total small litterfall b. Leaves c. Wood d. Flowers and fruits

该类森林凋落量的季节变化与当地气象诸要素有一定的相关关系。统计结果表明,叶、枝和凋落物总量的月凋落量与月均温、月均空气相对湿度和月均降雨量变化之间存在负相关,显著水平分别为 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 。

3.2 大枯枝凋落量及其季节变化

大枯枝凋落物是一些原始林、老龄林凋落物中一个重要的组成部分。从 5 个面积各为 8 m^2 的地面固定样地按月收集统计的结果(表 2)表明,哀牢山中山湿性常绿阔叶林年平均大枯枝凋落量为 0.443 t/hm^2 ,年变幅为 $0.279 \sim 0.637 \text{ t/hm}^2$,变异系数为 39.7%。在

大枯枝凋落物的径级构成中,直径在 2.5~5.0 cm 的枯枝占总量的 80%左右,而 10 cm 以上的枯枝很少,仅占总量的 3%~5%。在一年中不同季节大枯枝凋落量差异较大,4~6 月和 10~12 月两个时期凋落的大枯枝分别占年总量的 40.9%和 33.2%,月最大凋落量为 0.410 t/hm²,1~3 月的凋落量较少。

表 2 哀牢山中山湿性常绿阔叶林的大枯枝凋落量(t/hm²)
Table 2 The large wood litterfall (t/hm²) in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains

项目 Items	1~3 月 Jan. to Mar.	4~6 月 Apr. to Jun.	7~9 月 Jul. to Sept.	10~12 月 Oct. to Dec.	合计 Total
凋落量 Litterfall	0.052	0.176	0.065	0.150	0.443
%	11.5	40.9	14.4	33.2	100

3.3 森林粗死木质物的组成和数量

在哀牢山中山湿性常绿阔叶林中,现存的粗死木质物主要是由倒木、枯立木和大枯枝组成。倒木和枯立木在林内的分布不均匀,林内倒木主要是由一些大径级(最大直径可达 2 m)的腾冲栲、木果石栎等群落的优势种组成;而枯立木则是一些林内受压的中小径级亚冠层树种。倒木的现存量明显高于枯立木现存量(表 3)。在 50 m×50 m 的标准地内,共有立木 128 株,其中枯立木有 3 株,依据有关生物量回归方程式计算结果,该类森林枯立木现存量为 8.83 t/hm²,占该林分地上部分生物量的 2.6%。倒木的现存量有 84.45 t/hm²,大枯枝的现存量有 5.18 t/hm²。以上三者的现存量合计为 98.46 t/hm²,它分别为该类森林地上枯落物总量的 80.8%和活立木生物量的 25.7%。从现存倒木来看,倒地位置往往形成大小不同的林窗,多数倒木表面密布苔藓。因倒木种类、径级大小、倒地时间长短和位置的不同,现存倒木的腐烂程度有较大的差异。一些倒地时间长,腐烂程度较高,表层腐殖质较厚的倒木上已生长有相当数量的幼苗、幼树,这种现象在许多研究中都有过报道^[1,5]。由此可看出,大树倒地后形成的林窗以及随后倒木的腐烂过程,对天然老龄林的更新和保持其结构的稳定起着十分重要的作用。

表 3 哀牢山中山湿性常绿阔叶林粗木质残物组成及其数量
Table 3 Composition and amount of coarse woody debris in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains

项目 Items	枯立木 Dead tree	倒木 Fallen tree	粗枝 Large wood (>2.5 cm diameter)			合计 Total
			2.5~5 cm	5~10 cm	>10 cm	
株数 Number (株/hm ²)	12	20	—	—	—	—
现存量 Standing crop (t/hm ²)	8.83	84.45	3.18	1.09	0.91	98.46

在林地表现有大枯枝的径级成分中,2.5~5.0 cm 的枯枝占的比例最高,达 61.4%; 5.0~10.0 cm 和 >10.0 cm 两个径级的枯枝分别占 21.0%和 17.6%,相对而言,2.5~

5.0 cm 和 5.0~10.0 cm 两个径级枯枝在林地的空间分布较均匀,而>10.0 cm 的粗枝不仅数量少,而且空间分布也不均匀,这与每年凋落的大枯枝中>10.0 cm 的粗枝数量少的观测结果是一致的。

3.4 森林凋落物元素含量及其总量

化学分析结果(表 4)表明,在凋落物各组分中均以 C 素含量较高,除此之外,N 和 Mg 元素在叶片中的含量较高。花果中以 P 和 K 元素含量为高。枝条中 Ca 的含量较高。杂物组分中各元素的含量相对较高,尤以 N、P、Al 和 Fe 的含量最为显著。

表 4 哀牢山中山湿性常绿阔叶林凋落物元素含量及其总量
Table 4 Element concentrations and amount in litterfall in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains

组分 Compositions		C	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe
叶 Leaves	%	57.17	0.814	0.074	0.403	0.804	0.176	0.121	0.081	0.012
	kg/(hm ² ·a)	2716	38.7	3.5	19.1	38.2	8.4	5.7	3.8	0.6
小枝 Small branch	%	48.60	0.504	0.050	0.215	1.137	0.121	0.063	0.090	0.017
	kg/(hm ² ·a)	532	5.5	0.5	2.4	12.5	1.3	0.7	1.0	0.2
花果 Flower and fruits	%	50.14	0.895	0.111	0.740	0.221	0.099	0.047	0.061	0.015
	kg/(hm ² ·a)	409	7.3	0.9	6.0	1.8	0.8	0.4	0.5	0.1
杂物 Mixed matter	%	49.08	1.125	0.117	0.476	0.520	0.148	0.073	0.154	0.081
	kg/(hm ² ·a)	52	1.2	0.1	0.5	0.6	0.2	0.1	0.2	0.1
合计 Total	kg/(hm ² ·a)	3709	52.7	5.0	28.0	53.1	10.7	6.9	5.5	1.0

本区森林每年通过凋落物积累在林地表的元素(C、N、P、K、Ca、Mg、Mn、Al 和 Fe)的总量合计为 3872 kg/hm²,其中叶凋落物中元素总量为 2834 kg/(hm²·a),占凋落物元素总量的 73.19%;枝居中,为 556 kg/(hm²·a),占 14.36%;花果和杂物的元素总量为 482 kg/(hm²·a),只占 12.45%。C、Ca 和 N 在凋落物中的数量较多,分别占凋落物元素总量的 95.79%、1.37%和 1.36%,其余几种元素仅占 1.48%。在一年中,凋落物的元素总量随季节变化明显,其高峰值也出现于干季后期的 4~5 月和秋末冬初的 10~11 月,两次高峰期时的元素总量占其年总量的 54.1%。

3.5 森林粗死木质物中元素含量及其贮量

该类森林中,粗死木质物主要是由不同种类的枯立木和不同腐解程度的倒木、枯枝等组成。分别取各组分的混合样进行化学分析,结果(表 5)表明,枯立木和粗枝中养分元素含量一般都比倒木的高,但是,随着倒木腐解程度的增加,某些元素(如 N、P、Fe、Al 等)呈现出增加的趋势。

哀牢山中山湿性常绿阔叶林粗死木质物中贮存的元素总量达 48699 kg/hm²,其中贮存于倒木中的有 41392 kg/hm²,占其总贮量的 85%。C 素是粗死木质物中贮量最高的物质,它占粗死木质物元素总贮量的 98.9%;N、Ca 和 K 的贮量相对较高,分别为 230 kg/hm²、201 kg/hm² 和 42 kg/hm²。Mn、Al 和 Fe 三种元素的贮量都低于 10 kg/hm²。

表 5 哀牢山中山湿性常绿阔叶林粗死木质物元素含量及其贮量
Table 5 Element concentrations and storage in coarse woody debris in mid-mountain humid
evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains

组分 Compositions		C	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe
枯立木 Dead tree	%	51.53	0.275	0.046	0.082	0.497	0.035	0.005	0.006	0.008
	kg/hm ²	4550	24.3	4.1	7.2	43.9	3.1	0.4	0.5	0.7
倒木 Fallen tree	%	48.55	0.221	0.012	0.037	0.153	0.024	0.004	0.005	0.008
	kg/hm ²	41000	186.6	10.1	31.2	129.2	20.3	3.4	4.2	6.8
粗枝 Large branch	%	50.54	0.376	0.025	0.069	0.531	0.040	0.017	0.056	0.043
	kg/hm ²	2613	19.4	1.3	3.6	27.5	2.1	0.9	2.9	2.2
合计 Total	kg/hm ²	48163	230.3	15.5	42.0	200.6	25.5	4.7	7.6	9.7

4 讨 论

中山湿性常绿阔叶林是我国山地常绿阔叶林中一个重要而特殊的类型。金振洲等^[12]分析认为,哀牢山徐家坝地区中山湿性常绿阔叶林是南亚热带上的山地垂直带类型,它是中山温凉湿润地方性气候的产物,反映的水平属于暖温带性。因而在某些方面带有明显的地方性特点。从凋落量上看,本区中山湿性常绿阔叶林小于广东鼎湖山南亚热带常绿阔叶林^[11],而要高于滇中中亚热带半湿润常绿阔叶林^[10]。在组成上,本区森林凋落物中落枝量和落果量都要比前两类森林多,反映出天然老龄林的凋落特点。从凋落节律分析,本区森林在一年中有两个凋落高峰,与其他地区常绿阔叶林一样,第一高峰是发生在干季的4~5月,是受季风影响地区森林凋落进程的普遍现象。另一凋落高峰于初冬时节的10~11月份出现,显然低温和较高风速对该类森林的凋落进程造成了一定的影响,这与南亚热带常绿阔叶林有所不同。在养分元素归还方面,每年以凋落物方式积累于林地表的元素总量较高,达3872 kg/hm²,凋落物总量与N素贮量的比值为128,与其他地区常绿阔叶林比较,该类森林群落的N素归还潜力较高,但是,它的N素利用效率是比较低的。

由倒木、枯立木和大枯枝组成的粗死木质物现存量、养分贮量高是本区中山湿性常绿阔叶林的另一显著特点。据有关文献^[1,5]报道,阔叶林中的粗死木质物量要小于针叶林,一般为8~50 t/hm²。然而,在该类森林中粗死木质物的现存量(98.46 t/hm²)已明显高于此范围。这与粗死木质物的组成、径级大小、材质、环境条件及人为活动状况等密切相关。在该类森林中,占粗死木质物多数的倒木主要是一些大径级的壳斗科植物种类,其木材较难于分解。在环境因子方面,虽然本区域空气湿度很高,但因林内常年光照不足,气温较低,不利于倒木的分解。再加之该地区人烟稀少,交通不便,林内枯落物很少受到人为干扰。因此,本区常绿阔叶林中的粗死木质物量相对要高于其他地区的阔叶林。其次,就它本身的养分贮量而言,每年以凋落物方式归还给土壤的养分总量,也仅为林内粗死木质物养分贮量的7.77%,显然,粗死木质物是该类森林中重要的养分库,而且,在其腐烂过程中还具有固N能力^[1]。除此之外,由于粗死木质物的存在和分布的不均匀,增添了结构和生境的多样性,为许多生物提供了得天独厚的条件^[5]。Elton的研究结果^[1]表明,如果把松树林中的粗死木质物全部运出,那么该系统中1/5的动物区系将会丧失。同时,林内粗死

木质物还是许多树种更新的苗床,在我国长白山岳桦云冷杉林中,倒木仅占地表的 7.2%,但 82.5%的云冷杉更新苗都分布在倒木上^[1]。我们在调查中也看到林内一些倒木上生长有相当数量的幼苗、幼树。可见,粗死木质物的存在,对于森林的更新演替、保持系统内生物多样性与系统的平衡和稳定起着不可忽视的作用。此外,粗死木质物在涵养水源、减缓水土侵蚀、影响土壤形成等方面也有一定的作用^[1,5]。

根据调查和分析结果,我们认为哀牢山徐家坝地区中山湿性常阔叶林内粗死木质物的积累主要来自两部分:一是因该类森林地处边远山区,林龄较高,许多倒木为树木自然老死后倒地形成的,其中大径级的种类为腾冲栲和木果石栎,据谢寿昌等^[13]观察结果,这两种树木的寿命长达 300~500 年。这部分倒木的积累是渐进的过程,是构成粗死木质物的主体。另一部分粗死木质物主要是森林遭受雪压和风倒等外来因素干扰后积累起来的。本区域内每隔 10 年左右(据记录,1982 年 11 月和 1992 年 11 月都各降过一次大雪)降一次大雪,一些枝叶繁茂的大树枝、树干中腐的林木等因积雪过重发生断枝、断干的情况为突发的过程,由此积累的粗死木质物量较少。

综上所述,由于环境的特殊性和该类森林自身的特点,使得本区中山湿性常绿阔叶林凋落物和林中粗死木质物的组成、数量、空间分布格局、养分贮量等方面都具有其独自的特点。因此,在以后的工作中,需要在定量水平上进一步深入研究它们(尤其是林内粗死木质物)在森林生态系统中的各种功能,为有效地保护和利用该区的森林资源提供科学论据。

参 考 文 献

- 1 郝占庆,吕航. 木质残物体在森林生态系统中的功能评述. 生态学进展. 1989. 6:179~183
- 2 陈华, Harmon M E. 温带森林生态系统粗死木质物动态研究. 应用生态学报. 1992. 3:99~104
- 3 Graham S A. The felled trunk as an ecological unit. *Ecology*. 1925. 6:397~416
- 4 Crier C C. A *Tsuga heterophylla*-*Picea sitchensis* ecosystem of coastal Oregon: Decomposition and nutrient balance of fallen logs. *Can J For Res*. 1978. 8:198~206
- 5 Harmon M E. Franklin J F. Swanson F J *et al.* Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adv in Ecol Res*. 1986. 15:133~302
- 6 Sollins P. Cline S P. Verhoeven T *et al.* Pattern of log decay in old growth Douglas-fir forest. *Can J For Res*. 1987. 17:1585~1595
- 7 Spies T A. Franklin J F. Coarse woody debris in Douglasfir forest of Western Oregon and Washington. *Ecology*. 1988. 69:1689~1702
- 8 徐化成. 美国新林业学说的理论和实践. 北京林业大学学报. 1991. 13:105~111
- 9 邱学忠,谢寿昌,荆桂芬. 云南哀牢山徐家坝地区木果石栎林生物量的初步研究. 云南植物研究. 1984. 6:85~92
- 10 刘文耀,刘伦辉,郑征. 滇中常绿阔叶林及云南松林枯落物的初步研究. 广西植物. 1989. 9:347~356
- 11 屠梦照. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物量. 见:热带亚热带森林生态系统研究. 第二集. 广州:科学普及出版社广州分社. 1984. 18~23
- 12 金振洲. 论哀牢山徐家坝地区常绿阔叶林的特点和性质. 见:云南哀牢山森林生态系统研究. 昆明:云南科技出版社. 1986. 204~214
- 13 谢寿昌,邱学忠,荆桂芬. 哀牢山徐家坝地区木果石栎林主要树种生长规律的初步研究. 见:云南哀牢山森林生态系统研究. 昆明:云南科技出版社. 1986. 183~201