

文章编号: 1008 - 2786 - (2007)3 - 317 - 09

滇石林地质公园喀斯特山地天然林和人工林凋落物与死地被物的动态特征

吴毅^{1, 2}, 刘文耀^{1, 3}, 沈有信^{1, 2}, 崔建武^{1, 2}, 李玉辉⁴, 刘伦辉¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 云南 昆明 650223; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 澳大利亚 Curtin理工大学环境生物学院, 珀斯 6845; 4. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650092)

摘 要: 对云南石林地质公园景区及其保护区内喀斯特山地典型森林类型凋落物组成与数量及其动态, 地表死地被物现存量与持水特性等进行了研究。结果表明, 本区域保护较好的滇青冈 (*Cyclobalanopsis glaucooides*) 林的年凋落量达 7.26 t/hm²; 而以团花木新姜子 (*Neolitsea hainanensis*) 为主的次生林只有 1.98 t/hm²; 云南松 (*Pinus yunnanensis*) 人工林和干香柏 (*Cupressus duclouxiana*) 人工林年凋落量分别是 2.49 t/hm² 和 4.07 t/hm²。这些森林的凋落节律相似, 都呈明显的“双峰型”。在地表死地被物现存量方面, 干香柏林因其叶片难以分解而具有较高的地表现存量, 为 13.59 t/hm², 随后依次为滇青冈林 (7.57 t/hm²), 团花木新姜子次生林 (5.02 t/hm²) 和云南松人工林 (4.83 t/hm²)。死地被物的持水量与其现存量的大小顺序一致。根据森林年凋落量与死地被物现存量的数量关系, 表明保护较好的滇青冈林内枯枝落叶的分解率明显大于次生林和人工林, 周转期也短, 涵养水分能力也较强。因此, 应加强对喀斯特山地自然森林的保护, 同时也注意对现有人工林的改造, 引进一些阔叶树种, 提高群落结构的整体效应。

关键词: 凋落物; 死地被物; 持水力; 喀斯特; 天然林; 人工林; 石林地质公园

中图分类号: S718.55

文献标识码: A

森林植物每年有相当数量的枯枝、枯叶、花果及杂物凋落, 天长日久便在地表形成一层以枯枝落叶为主的死地被物层, 该层对森林生态系统结构和功能, 以及养分循环过程具有重要的作用^[1, 2]。国内外很多学者对森林凋落物的数量^[3, 4]、组成及其季节动态^[5]、地表死地被物的分解率^[6, 7]、养分归还^[8, 9]、持水特性^[10, 11]等进行了较多的研究。森林凋落物和死地被物的组分、数量及其动态随着森林类型、组成结构、生境条件和人为干扰活动等的不同而存在较大的差异^[4, 12]。喀斯特山地森林植被是我国山地植被组成中一类重要而特殊的类型, 其生境异质性明显、生物多样性较丰富, 特有成分突出, 喀斯特山地植被的生态演替过程有特殊的规律性^[13]。

此外, 由于喀斯特山地分布范围广, 受外来干扰的方式和强度不同, 造成地域性植被保存类型多样。20世纪 90年代以来, 一些学者对喀斯特森林顶极群落的结构、功能及其动态^[14-16]、植物区系特征^[17]、喀斯特退化山地土壤种子库^[18, 19]等方面开展过较多的研究。但是, 对喀斯特山地天然林和人工林生态过程和功能的研究相对较少。

云南石林地质公园是我国乃至世界著名的旅游景区, 以其演化历史久远、类型丰富和观赏性强的喀斯特地质地貌景观而闻名于世, 2004年被联合国教科文组织 (UNESCO) 批准为世界地质公园。以滇青冈 (*Cyclobalanopsis glaucooides*) 林为代表的半湿润常绿阔叶林是云南石林地质公园喀斯特山地的地带性

收稿日期 (Received date): 2006 - 11 - 20; 改回日期 (Accepted): 2007 - 02 - 16。

基金项目 (Foundation item): 云南省自然科学基金重点项目 (编号: 2002C004Z)、中国科学院“百人计划”项目 (BRJH2002098)。[The project was supported by the Natural Science Foundation of Yunnan Province (2002C004Z) and the Top One Hundred Young Scientists, CAS (BRJH2002098)]

作者简介 (Biography): 吴毅 (1981 -), 男, 四川简阳人, 在读硕士研究生, 研究方向为恢复生态学。Tel: 0871 - 5179921; E - mail: wuyi@xtbg.ac.cn
通讯作者 Author for correspondence E - mail: liuwuy@xtbg.ac.cn

植被。过去几十年来,由于人口剧增和不合理的开发活动,石林喀斯特山地自然森林植被受到严重的破坏,取而代之的是大面积的农业用地和次生植被,云南松(*Pinus yunnanensis*)和干香柏(*Cupressus duclouxiana*)林生长速度快,适应性强,耐贫瘠,是1960~1970年代本地区广为营造的人工林^[20]。在石林喀斯特山地多石少土、水分渗漏性强^[21]、干湿季分明、生态环境脆弱^[22]的特殊环境条件下,该地区天然林和人工林凋落物与死地被物的组成、数量及其动态模式与其它类型的森林可能有较明显的差别。

近年来,为了提升石林景区景观的内涵和生态价值,石林景区管理局及有关部门对景区及其保护区150 km²范围内的喀斯特退化山地实施生态恢复和适配群落构建的工作,其中提出了需了解景区现存的自然林和人工林的凋落物组成、数量及其季节变化规律的要求。为此,本文以石林地质公园景区及其保护区喀斯特山地植被恢复为背景,通过对该地区天然林和人工林凋落物组成、数量与季节动态,以及地表死地被物现存量、分解状况及其持水特性的观测研究,旨在为深入了解喀斯特山地森林生态系统结构、功能及其生态过程,同时也为石林景区及其保护区喀斯特退化山地植被恢复提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区自然状况

研究样地位于云南中部喀斯特高原的石林世界地质公园,区域范围103°15'~103°29' E, 24°40'~

24°56' N,海拔1 700~1 950 m。研究区气候属于典型的亚热带高原干湿季风气候,全年分为干、湿两季,夏秋半年为雨季(每年5~10月),冬春半年为旱季(11月至次年4月)^[20]。年均温为15.6℃,最热月是7月,平均气温20.8℃,最冷月是1月,平均气温8.2℃。多年平均降雨量为967.9 mm,雨季降雨量占全年降雨量的80%~88%,旱季降雨量仅占12%~20%,境内平均湿度75%。全年5℃的积温为6 153.7℃,年蒸发量2 086 mm,全年日照时数2 318 h,年辐射总量为5 644 MJ/m²,年均风速为3.13 m/s。早霜出现在11月下旬,晚霜一般延至翌年3月中旬,多年平均无霜期252 d。主要土壤类型为红壤、紫色土和水稻土,以红壤分布最广^[23]。

半湿润常绿阔叶林是滇中地区的地带性植被,但目前石林景区及其周边范围内,除农地以外喀斯特山地现存的植被主要是云南松中幼年林,以及常绿阔叶林经反复砍烧破坏后形成的以团花新木姜子(*Neolitsea hainanensis*)为主的次生群落或稀树灌草丛。偶见小面积的半湿性常绿叶林被保存在当地少数民族村庄附近的“密枝林”(神山)中。据此,本研究在石林景区范围内分别选择了两类受不同强度人为干扰的滇青冈林:一类是位于当地彝族村庄附近“密枝林”(神山)上,基本上保持了森林原生的结构(CGF-1),另一类是部分大径级林木在20世纪80年代前曾遭受砍伐,以后经保护恢复发展起来的林分(CGF-2),以团花新木姜子为主的次生林(NHF)三个天然林样地,以及云南松林(PYF)和干香柏林(CDF)2个人工林样地作为研究样地,有关这些森林群落的基本情况列于表1。

表 1 石林景区主要森林类型的样地概况

Table 1 Characteristics of the sample plots of the main forests in the Stone Forest

森林类型 Forest types	样地位置 Location	海拔(m) Altitude	坡度(°) Slope	岩石露头率(%) Rate of rock/soil	盖度(%) Coverage	主要树种组成* Composition
滇青冈林(CGF-1) <i>Cyclobalanopsis glaucooides</i> forest	蓑衣山	1 950	20~25	30~50	60~85	青、清、团、云、黄、鹅、裂、毛、
滇青冈林(CGF-2) <i>Cylobalanopsis glaucooides</i> forest	五棵树	1 900	15~20	30~40	60~80	青、清、黄、云裂、毛
团花新木姜子林(NHF) <i>Neolitsea hainanensis</i> forest	黑松岩(乃古)	1 900	25~35	50~60	10~40	团、云、清、柿、
云南松林(PYF) <i>Pinus yunnanensis</i> forest	石林后山	1 900	5~15	10~20	30~50	松、苦、火、
干香柏林(CDF) <i>Cupressus duclouxiana</i> forest	石林后山	1 900	5~15	10~20	70~80	柏、松、苦、

*青为滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucooides*);清即清香木(*Pistacia weinmannifolia*);团即团花新木姜子(*Neolitsea hainanensis*);云即云南木樨榄(*Olea yunnanensis*);黄为黄连木(*Pistacia chinensis*);鹅即云南鹅耳枥(*Carpinus moheigiana*);裂即裂果漆(*Toxicodendron griffithii*);毛即大毛毛花(*Albizia mollis*);柿为毛叶柿(*Diospyros mollifolia*);松即云南松(*Pinus yunnanensis*);苦即苦刺花(*Sophora davidii*);火即火把果(*Pyraeantha fortuneana*);柏为干香柏(*Cupressus duclouxiana*)。

1.2 研究方法

1.2.1 凋落物收集

采用收集框法调查森林凋落物。在上述五种林地内各设 50 m ×50 m 的标准样地,按随机布点法分别在各样地内设置 20 个面积为 0.25 m² 的凋落物收集器。收集器是用孔径为 1.2 mm ×1.2 mm 的尼龙网制成的圆锥状容器。安放时,锥底距地表 30 cm。2003 - 06 ~ 2004 - 12 期间,每月末收集一次凋落物。带回室内,然后区分出枝、花果叶和杂物两部分。将各组分的凋落物放在 80 °C 的恒温烘箱中烘干至恒重后称重,最后计算出各类凋落物量。

1.2.2 地表死地被物现存量及其持水特性

每年凋落的枯枝、枯叶、花果及其他杂物积累于地表形成了不同分解程度的枯枝落叶层。采用样方法调查地表死地被物现存量。在所研究的森林中随机设置面积为 50 ×50 cm 的样方 10 个,按枯枝落叶处于不同的分解程度:未分解、半分解及完全分解 3 个亚层,即 L (Litter)层、D (Duff)层和 H (Humus)层^[24-26],分别取样烘干称重,然后计算出森林地表死地被物现存量。

将不同类型森林地表不同分解程度的枯枝落叶

取样带回实验室,用浸泡法测定枯枝落叶各组分的持水量^[10]。把各组分样品用窗纱包住放入水池中浸泡 24 h,取出放在铁丝网上直至不能滴水为止,然后称重。根据样品的饱和湿重、干重和取样面积计算每公顷地表死地被物层的持水量。

1.2.3 林地土壤含水率测定

为掌握不同森林类型土壤水分动态,每月末在所研究的林地内分别随机采集 20 cm 深处土壤样品 5 份,带回实验室用烘干法测量其含水率。

2 结果与分析

2.1 年凋落物总量及其组分

根据观测结果,石林景区内保护较好的滇青冈林凋落的枯枝落叶数量较高,达 7.16 ~ 7.26 t/hm²,其次为干香柏人工林 (4.07 t/hm²)、云南松人工林 (2.49 t/hm²),以团花木新姜子为主的次生林最小,仅为 1.98 t/hm²。在上述森林的凋落物组成中,叶、花果及杂物所占比例最大,占总凋落量的 94% 以上,枯枝所占的比例少于 6% (表 2)。

表 2 石林景区不同类型森林凋落物组成及数量

Table 2 The amount of different components of litterfall of different forests in the Stone Forest

森林类型 Forest types	枝 Branches	凋落物 Litterfall (t/(hm ² · a) ± SD [*]) 叶、花果及杂物 Leaves, flower and mixed matter	合计 Total
滇青冈林 (CGF - 1) <i>Cyclobalanopsis glaucoides</i> forest	0.406 ± 0.031	6.854 ± 0.302	7.260 ± 0.302
滇青冈林 (CGF - 2) <i>Cyclobalanopsis glaucoides</i> forest	0.439 ± 0.053	6.724 ± 0.285	7.163 ± 0.262
团花新木姜子林 (NHF) <i>Neolitsea hamiantha</i> forest	0.094 ± 0.010	1.886 ± 0.087	1.979 ± 0.088
云南松林 (PYF) <i>Pinus yunnanensis</i> forest	0.006 ± 0.002	2.479 ± 0.074	2.485 ± 0.074
干香柏林 (CDF) <i>Cupressus duclouxiana</i> forest	0.001 ± 0.000	4.073 ± 0.161	4.074 ± 0.161

* SD 为标准偏差 (Standard deviation)

2.2 凋落物各组分的季节动态

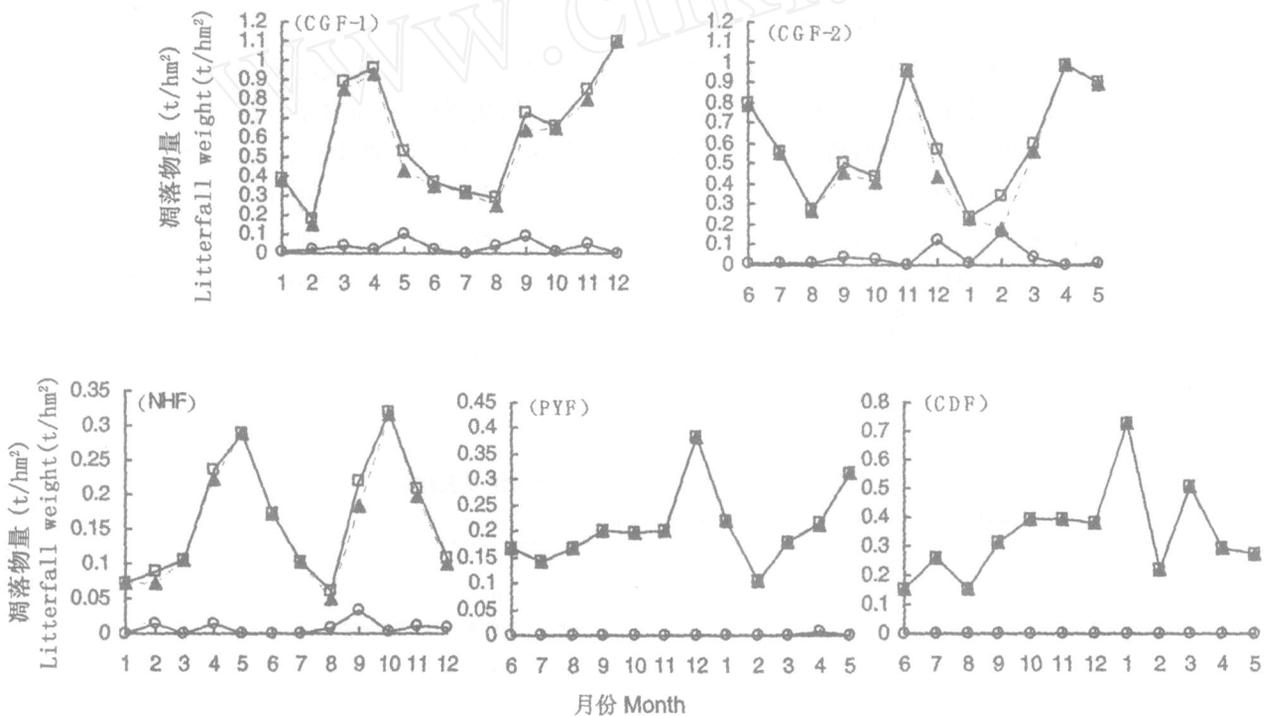
在一年中,石林喀斯特山地森林凋落量有两个高峰期:初冬时节的 11 ~ 12 月和最干热的 4 ~ 5 月。不同类型森林因组成、结构及受人为干扰影响程度的不同,它们的凋落量高峰值及其出现时间有所不同。位于蓑衣山保护较好的滇青冈林 (CGF - 1) 月平均凋落量为 0.605 t/hm²,月最大值为 1.105 t/hm² (2004 - 12),是最小值 0.178 t/hm² (2003 - 02)

的 6.2 倍 (图 1, CGF - 1); 位于五棵树受轻度人为干扰的滇青冈林 (CGF - 2) 月平均凋落量为 0.597 t/hm²,最大值 0.986 t/hm² (2004 - 04),是最小值 0.234 t/hm² (2004 - 01) 的 4.2 倍 (图 1 CGF - 2); 以团花新木姜子为主的次生林的月平均凋落量为 0.165 t/hm²,最大值 0.318 t/hm² (2004 - 10),最小值 0.060 t/hm² (2004 - 08) (图 1, NHF); 云南松林月平均凋落量为 0.207 t/hm²,其最大值和最小值出

现的月份与滇青冈林相同,最大值为 0.382 t/hm²,最小值 0.103 t/hm² (图 1, PYF);干香柏林月平均凋落量为 0.340 t/hm²,其最大值为 0.729 t/hm² (2004 - 01),最小值 0.150 t/hm² (2004 - 08) (图 1, CDF)。不仅凋落物量月际差异大,凋落物各组分的月凋落量也有差异。叶的凋落动态与其各月凋落量的节律基本一致,而小枝的凋落无明显动态规律。总的来讲,阔叶林小枝凋落相对频繁,而针叶林小枝凋落量很少。

从图 1中可看出,所调查的五类森林凋落物季

节变化总趋势大体一致,即均表现出较明显的“双峰”的凋落节律,如果把凋落量大于平均值的月份作为凋落高峰期,把高峰期所占月份数称为“峰宽”。那么滇青冈林和干香柏林的第一凋落高峰持续时间比第二凋落高峰峰宽要短,而团花新木姜子林和云南松林第二个凋落高峰期持续时间要略高于第一凋落高峰,阔叶树种落叶集中在凋落高峰期,叶凋落量占总凋落量的 70%以上,而针叶树种高峰期凋落量占总量的比例相对低,只占 40%~50%。



() 凋落物总量 Litterfall weight; () 花果叶和杂物 Flowers, fruits, leaves and mixed matter; (○)小枝 Branches; (CGF - 1)滇青冈林 (蒙衣山样地) *Cyclobalanopsis glaucooides* forest; (CGF - 2)滇青冈林 (五棵树样地) *Cyclobalanopsis glaucooides* forest; (NHF)团花新木姜子林 *Neolitsea han iantha* forest; (PYF)云南松林 *Pinus yunnanensis* forest; (CDF)干香柏林 *Cupressus duclouxiana* forest; CGF - 1、NHF两种群落观测期为 2004年全年;CGF - 2、PYF和 CDF三类群落为 2003 - 06 ~ 2004 - 05

图 1 石林景区不同类型森林凋落物的季节动态

Fig 1 Seasonal dynamics of litterfall in different forests in the Stone Forest

2.3 地表死地被物现存量及分解率

由于不同类型森林在树种组成、年龄结构、枝叶理化特性以及人为干扰影响的不同,故而各类森林地表死地被物现存量存在明显的差异。在石林景区所调查的四种类森林中,它们的地表死地被物现存量大小排序是:干香柏人工林 >滇青冈林 >团花新木姜子次生林 >云南松人工林 (图 2)。

在地表不同分解程度的枯枝落叶的实际调查中,云南松林的松针难以分解,加之常常被当地群众

收取作为燃料或垫圈物,地表现存的松针多以未分解、半分解状态存在,无明显的完全分解层 H (Humus)层,干香柏人工林中落叶的分解速度更慢,地表死地被物主要以未分解状态存在,难以区分出半分解层 (D层)和完全分解层 (H层)。因此,此类人工林地表死地被物统归为一类。滇青冈林和云南松林地表死地被物中未分解成分 (L层)所占比例较大,分别占 51.4%和 62.1%;在所调查的森林群落中,地表死地被物中半分解成分 (D层)的现存量大

小排序为:滇青冈林 >团花新木姜子次生林 >云南松人工林。在滇青冈林和团花新木姜子次生林林中,地表死地被物完全分解成分(H层)的数量均在 1 t/hm²左右。

利用森林年凋落量(L)和地表死地被物现存量(X_L)的数量关系可以推算出森林枯枝落叶的消失率常数 K_L^[5-7,27],该常数也可以粗略看作是枯枝落叶的分解率^[27]。其公式为 K_L = L (年凋落量) / X_L (地表死地被物现存量)。枯枝落叶全部分解所用时间(周转时间)是分解率的倒数, T = 1 / K_L。用以上二式求出不同林地枯枝落叶的分解率和周转时间(表 3)。滇青冈林地表死地被物的分解率 0.959, 周转时间为 1 a,是所调查几类森林中分解最快的一种类型。而干香柏林分解率最慢,其地表死地被物分解率为 0.3,周转时间为 3.3 a。

2.4 地表死地被物的持水量及土壤含水量

测试结果表明,地表死地被物的持水量以滇青冈林最高,是自身干重 2.9倍;而云南松人工林和干香柏人工林最低,为其自身干重的 1.5倍。在不同分解程度的枯枝落叶中,滇青冈林地表完全分解的枯枝落叶(H层)持水率最大,达自身干重 4.1倍(表

4)。以林地枯枝落叶总持水量作比较,干香柏人工林最高,为 20.239 m³/hm²,是云南松人工林(7.360 m³/hm²)的 2.75倍,滇青冈林和以团花新木姜子为主的次生林的持水量在 10.1 ~ 18.2 m³/hm²之间。

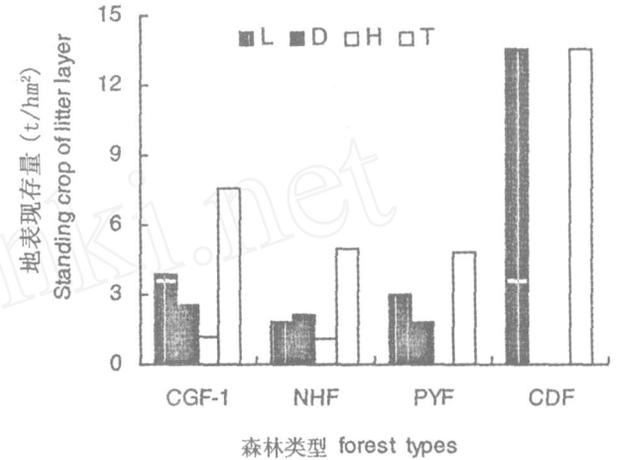


图 2 石林景区不同森林类型地表死地被物现存量

Fig 2 Standing crop of litter on forest floor in different forests in the Stone Forest

L: litter未分解层, D: duff半分解层, H: humus已分解层, T: total总量
CGF - 1:滇青冈林; NHF:团花新木姜子林; PYF:云南松林; CDF:干香柏林

表 3 石林景区不同类型森林地表死地被物的分解率及周转时间

Table 3 Decomposition rate and tumover of litter in different forests in the Stone Forest

森林类型 Forest types	年凋落量 (t/(hm ² · a)) Litterfall	地表死地被物现存量 (t/hm ²) Standing crop of litter on forest floor	分解率 Decomposition constant	周转时间 (a) Turnover time
滇青冈林 (CGF - 1) <i>Cyclobalanopsis glaucooides</i> forest	7.260	7.573	0.959	1.0
团花新木姜子林 (NHF) <i>Neolitsea ham iantha</i> forest	1.979	5.000	0.396	2.5
云南松林 (PYF) <i>Pinus yunnanensis</i> forest	2.485	4.830	0.515	1.9
干香柏林 (CDF) <i>JCupressus duclouxiana</i> forest	4.074	13.593	0.300	3.3

表 4 石林景区不同森林类型地表死地被物的持水能力

Table 4 Water holding capacity of standing crop of litter in different forests in the Stone Forest

森林类型 Forest types	未分解层 Litter layer		半分解层 Duff layer		已分解层 Humus layer		合计 Total	
	m ³ /hm ²	(%)						
滇青冈林 (CGF - 1) <i>Cyclobalanopsis glaucooides</i> forest	7.067	200.20	6.504	270.44	4.662	409.24	18.233	293.29
团花新木姜子林 (NHF) <i>Neolitsea ham iantha</i> forest	3.697	216.24	3.968	212.33	2.456	239.30	10.121	222.62
云南松林 (PYF) <i>Pinus yunnanensis</i> forest	4.058	129.64	3.301	166.80	-	-	7.360	148.22
干香柏林 (CDF) <i>Cupressus duclouxiana</i> forest	20.239	149.53	-	-	-	-	20.239	149.53

在林地土壤含水量方面,保存较好的滇青冈林全年保持较高的土壤含水量,干香柏人工林的土壤含水量最低。在雨季后期 10 月左右所有林地土壤水分达到一年的最高值,而土壤含水量的最低值呈现于的干季的 4 月。

3 讨论与结论

3.1 森林凋落量及其季节动态

云南石林地区受亚热带高原干湿季风气候的控制,地带性植被是半湿润常绿阔叶林,其中滇青冈林是代表性的地带性森林植被。石林地区保护较好的滇青冈林的年凋落量为 7.3 t/hm^2 ,介于热带森林与温带森林之间^[28],低于我国海南岛热带山地雨林 ($7.7 \sim 9.7 \text{ t/hm}^2$)^[8]、鼎湖山亚热带常绿阔叶林 (8.45 t/hm^2)^[3]和西双版纳季节雨林 8.42 t/hm^2 ^[6],但高于滇中秀山常绿阔叶林 (5.55 t/hm^2)^[25],与云南哀牢山北部地区原生的山地湿性常绿阔叶林 (6.77 t/hm^2)^[29]接近。

在相同气候带下,由于不同类型森林的组成、结构、生境条件及受人为干扰影响的不同,森林凋落物组成与数量存在较大的差异。本研究观测结果表明,位于当地彝族村庄附近的“密枝林(神山)”上保存较好的滇青冈林的年凋落量明显大于其他受干扰的森林群落和人工林。因此,加强对天然林的保护是维系区域生态系统生物多样性,以及生态系统服务功能的重要途径。

在凋落物的季节动态上,石林喀斯特山地森林表现为明显的双峰型(见图 1),凋落高峰期出现在旱季末(4~5月)和初冬时节的 11~12月,与森林植物自身的生物学特性和当地气候条件变化有密切的关系。结合该地区气候情况(图 3)分析,4、5月以高温、少雨为主要特征,水分胁迫能导致植物叶片和其他器官的老化和脱落,可能是影响旱季树叶凋落的一个主要因子^[30]。对凋落物成分分析显示,本地区常绿阔叶林的优势物种滇青冈、清香木(*Pitacia weimannifolia*)、团花新木姜子、云南木樨榄(*Olea yunnanensis*)等常绿树种落叶占很大比例。第二次高峰则主要是少雨、低温及较高的风速对森林凋落产生较大影响。除常绿树种少量换叶外,落叶树种如黄连木(*Pistacia chinensis*)、云南鹅耳枥(*Carpinus obeigiana*)、裂果漆(*Toxicodendron griffithii*)、大毛毛花(*Albizia mollis*)等生理性落叶是导致此时产生

凋落高峰期的主要原因。第二次高峰期枯落物数量在全年凋落量中占有很大比重,其中叶的凋落量占多数。据对滇青冈林群落调查资料^[16],按生活型分类结果显示,常绿中、小乔木与落叶中、小乔木的物种数差异不大,几乎各占一半;按常绿与落叶的个体数量、胸径总和或重要值来判定,则落叶成分的最高比例为 24.7%。这样的群落物种组成可能是导致凋落动态第二高峰期凋落物量高于第一凋落高峰的原因。

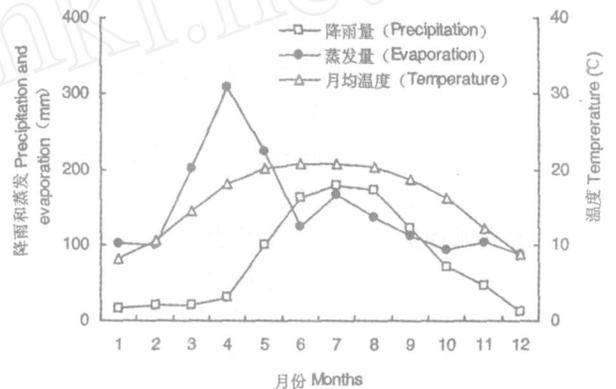


图 3 石林地区各月的降雨量、蒸发量和平均温度

Fig 3 Monthly variation of rainfall, evaporation and average air temperature in the Stone Forest region

此外,在滇青冈林中,9月还出现了一个小的高峰,这主要是由于树木的果实脱落所致。云南松是常绿针叶树种,但它的凋落物动态与半湿润常绿阔叶林较为一致(见图 1, PYP),也是在旱季末和雨季末有两个凋落高峰,这一现象与滇中秀山云南松凋落节律相同^[25]。干香柏林第一个高峰期主要是叶,第二个高峰期主要是球果和枯叶(见图 1, CDF)。

3.2 森林地表死地被物现存量动态

根据观测结果显示,石林喀斯特山地不同类型森林的地表死地被物现存量存在较大的差异,保存较好的滇青冈林的地表死地被物现存量明显高于其他森林群落。与其他地区相比较,本区滇青冈林和云南松林的地表死地被物现存量 (7.57 t/hm^2 和 4.83 t/hm^2)分别低于滇中地区常绿阔叶林 (24.61 t/hm^2)和云南松林 (21.56 t/hm^2)^[25],但高于西双版纳地区的季节雨林 (4.23 t/hm^2)和橡胶人工林 (4.37 t/hm^2)^[6]。其原因可能是喀斯特山地森林内分布的大量岩石露头(如石芽、石笋、石柱等),导致地表死地被物分布不均匀。此外,本区域森林年龄结构、密度以及受人为干扰活动(如云南松林内地

表死地被物常常被当地群众收走作为燃料或垫圈物等)造成地表死地被物数量的减少。本地区干香柏人工林地表死地被物现存量在所调查的几类森林群落中是最大的,这主要与其叶片难以分解的理化特性有很大的关系。

枯枝落叶的凋落、积累、分解与养分归还的过程是山地森林生态系统维持系统自我养分供应、物质循环以及发挥其生态功能的重要途径。本研究所调查的四种森林地表死地被物分解率 0.30~0.96,与其他地区相比,石林喀斯特山地半湿润常绿阔叶林地表死地被物分解率低于西双版纳季节雨林和橡胶多层林^[6],总体上高于四川茂县四种人工林^[5],与滇中地区亚热带区常绿阔叶林^[25]接近。而本地区半湿润常绿阔叶林地表死地被物分解周转时间则比滇中秀山亚热带常绿阔叶林要短,而云南松人工林地表死地被物周转时间与滇中秀山的云南松林^[25]的相似。本区域以团花新木姜子为主的次生林地表死地被物分解周转时间明显地比滇青冈林长,这可能与受人为干扰较少的滇青冈林群落的良好生境条件利于微生物和土壤动物活动有密切关系^[11,12,31]。同样作为针叶林的干香柏林周转时间明显长于云南松林,这主要是由于干香柏叶片上有发达的腊质层和木质素,不易分解,加之林下灌草植物稀少,土壤含水量最低,不利于微生物活动,使得干香柏林枯枝落叶分解率小,周转时间长。

一般说来,地表死地被物的现存量与其持水能力成正比(见图 2,表 4)。然而,不同类型森林枯枝落叶的组成、数量及其分解状况的不同,其持水能力存在较大的差异。在针叶林中凋落叶片仍含有较多的油脂,其持水能力要低于阔叶树种叶片^[31]。石林景区云南松林地表死地被物的持水量明显低于阔叶林。干香柏林枯枝落叶虽然持水率较低,但因其现存量较大,故其整体的持水能力也较强。林地枯枝落叶分解程度不同其持水能力也有很大区别。从本次研究结果可以看出,枯枝落叶分解程度越高,其持水率越大(见表 4)。总之,本研究结果进一步说明阔叶林涵养水分能力明显高于针叶林。

此外,人为干扰活动对喀斯特山地森林枯枝落叶的组成和数量产生较大的影响。本研究所选择位于当地彝族村寨“密枝林”的蓑衣山上以滇青冈林为主的半湿润常绿阔叶林,因受到较好的保护,人为干扰程度低,森林树种组成和群落结构保存较好,每年有较多的凋落物进入地表,林地上死地被物现存

量也比较丰富;而且林内良好的生境条件较适合微生物、土壤动物活动,林地枯枝落叶分解率快,周转时间短。同时现存量、分解程度较高的地表死地被物表现出良好的保存水土、涵养水分的能力。相比之下,受人为干扰影响的次生林(团花新木姜子林)年凋落量和地表死地被物现存量都较少,涵养水分的能力都明显降低。结构单一云南松人工林和干香柏林,其枯死针叶分解慢,周转时间长,保水性能也较低。

目前,石林喀斯特山地地带性的半湿润常绿阔叶林已受到较大破坏,仅有少部分的原生植被由于地形、交通条件限制和宗教等方面原因而得到较好的保护,而大部分区域被农业用地、不同类型的次生林和灌草地所代替,在局部地区生态环境条件日趋恶化。因此,在目前石林喀斯特山地自然森林资源十分匮乏的情况下,应加强对现有各种天然次生群落的保护与管理,封山育林,减少人为干扰,促进群落的自然恢复和演替。同时结合喀斯特山地自然景观特点和景区适配植物群落建设,筛选一些适宜的乡土植物,通过人工培育繁殖技术手段,在开展景区适配群落构建和退化山地植被恢复的同时,也注意对一些结构单一人工林的改造,引种一些阔叶树种,并注重林下灌木、草本植物和地表死地被物层的保护,以提高群落结构的整体效应。

参考文献 (References)

- [1] Lin Bo, Liu Qing, Wu Yan, et al. Advances in the studies of forest litter[J]. *Chinese Journal Ecology*, 2004, 23 (1): 60~64 [林波, 刘庆, 吴彦, 等. 森林凋落物研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23 (1): 60~64]
- [2] Li Zhian, Zhou Bi, Ding Yongzhen, et al. Key factors of forest litter decomposition and research progress[J]. *Chinese Journal Ecology*, 2004, 23 (6): 77~83 [李志安, 邹碧, 丁永祯, 等. 森林凋落物分解重要影响因子及其研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23 (6): 77~83]
- [3] Guan Lili, Zhou Guoyi, Zhang Deqiang, et al. Twenty years of litter fall dynamics in subtropical evergreen broad-leaved forests at the Dinghushan forest ecosystem research station[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28 (4): 449~456 [官丽莉, 周国逸, 张德强, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物量 20 年动态研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28 (4): 449~456]
- [4] Li Xuefeng, Han Shijie, Li Yuwen, et al. Litterfall in main forest ecosystems of Northeast China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16 (5): 783~788 [李雪峰, 韩士杰, 李玉文, 等. 东北地区主要森林生态系统凋落物量的比较[J]. 应用生态学报, 2005, 16 (5): 783~788]
- [5] Kong Weijing, Zheng Zheng. Litterfall of four man-made forest in

- Maodian, Sichuan[J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2004, 24(4): 27~31 [孔维静, 郑征. 四川省茂县四种人工林凋落物研究[J]. 中南林业大学学报, 2004, 24(4): 27~31]
- [6] Ren Yonghong, Cao Min, Tang Jianwei, et al. A comparative study on litterfall dynamics in a seasonal rain forest and a rubber plantation in Xishuangbanna, SW China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(5): 418~425 [任泳红, 曹敏, 唐建维, 等. 西双版纳季节雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 418~425]
- [7] 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 [J]. *Acta Phytocologica 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分解动态[J]. 植物生态学报, 1999, 23(3): 250~255]
- [8] Lu Junpei, Liu Qihan. Litter-fall in tropical forest at Jian-fengling Mountains, Hainan Island [J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1988, 12(2): 104~112 [卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰岭热带林凋落物研究初报[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(2): 104~112]
- [9] Liu WY, Fox JED, Xu ZF. Litterfall and nutrient dynamics in a montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao mountains, SW China [J]. *Plant Ecology*, 2002, 164: 157~170
- [10] Cheng Jinhua, Zhang Hongjiang, Shi Yuhu, et al. Water storage characteristics of ground covers under three forests in Three Gorges Area [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1825~1828 [程金花, 张洪江, 史玉虎, 等. 三峡库区三种林下地被物储水特性[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1825~1828]
- [11] Xue Li, He Yuejun, Qu Ming, et al. Water holding characteristics of litter in plantations in South China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 415~421 [薛立, 何跃君, 屈明, 等. 华南典型人工林凋落物的持水特性[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 415~421]
- [12] Peng Shaolin, Liu Qiang. The dynamics of forest litter and its responses to global warming [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1534~1544 [彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1534~1544]
- [13] Cao Jianhua, Li Xiankun. Characteristics, change pattern and ecological rehabilitations of Karst ecosystem in Southwest China [A]. In: Duan Changqun. *Advances in Ecological Sciences*, vol. 1 [C]. Beijing: Higher Education Press. 2004. 121~133 [曹建华, 李先琨. 中国西南岩溶生态系统的特征、演变与生态恢复 [A]. 见: 段昌群. 生态科学进展 (D) [C]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 121~133]
- [14] Liang Shichu. Study on dynamics of pubescent hombeam population in Karst mountain of Guiyang [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1992, 12(1): 53~59 [梁士楚. 贵阳喀斯特山地云贵鹅耳枥种群动态研究[J]. 生态学报, 1992, 12(1): 53~59]
- [15] Zhu Shouqian, Wei Luning. Community characteristic of Karst forest in Maolan [A]. In: Zhu Shouqian, *Ecology Study of Karst forest*, vol. 1 [C]. Guiyang: Guozhou Science and Technology Press 1993. 1~11 [朱守谦, 魏鲁明. 茂兰喀斯特森林的群落学特点 [A]. 见: 朱守谦. 喀斯特森林生态研究 (D) [C]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1993. 1~11]
- [16] Shen Youxin, Liu Wenyao, Li Yuhui, et al. Community ecology study on Karst semihumid evergreen broad-leaved forest at the central part of Yunnan [J]. *Guihaia*, 2005, 25(4): 321~326 [沈有信, 刘文耀, 李玉辉, 等. 滇中喀斯特山地半湿润常绿阔叶林的群落生态学研究[J]. 广西植物, 2005, 25(4): 321~326]
- [17] Cui Jianwu, Liu Wenyao, Li Yuhui, et al. The floristic elements of seed plants in stone forest limestone region, Yunnan Province [J]. *Guihaia*, 2005, 25(6): 517~525 [崔建武, 刘文耀, 李玉辉, 等. 云南石林地区石灰岩山地种子植物区系成分的研究[J]. 广西植物, 2005, 25(6): 517~525]
- [18] Shen Youxin, Zhang Ping, Cai Guangli, et al. Seeds and their distribution in the soils of Karst upland in eastern Yunnan [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(6): 707~711 [沈有信, 张平, 蔡光丽, 等. 滇东喀斯特山地土壤种子库及其分布特征[J]. 山地学报, 2003, 21(6): 707~711]
- [19] Shen Youxin, Jiang Jie, Chen Shengguo, et al. Storage and composition of soil seed banks of different degraded Karst vegetation types in Southeast Yunnan [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(1): 101~106 [沈有信, 江洁, 陈胜国, 等. 滇东南岩溶山地退化植被土壤种子库的储量与组成[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 101~106]
- [20] Li Lianju. A comprehensive report of declaring the Geopark—The Geopark of Stone forest, Kunming, Yunnan, Chian [R]. The Ministry of Land and Resources, P. R. Chian. 2003. 1~164 [李连举. 世界地质公园申报综合报告——中国云南省昆明市石林世界地质公园 [R]. 中华人民共和国国土资源部, 2003. 1~164]
- [21] Ren Hai, Peng Shaolin. *Restoration Ecology* [M]. Beijing: Science Press. 2002. 33~35 [任海, 彭少麟. 恢复生态学导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2002. 33~35]
- [22] Jin Zhenzhou, Peng Jian (editor in chief). *Vegetation of Kunming* [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 1998. 313 [金振洲, 彭鉴. 昆明植被 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1998. 313]
- [23] Liang Fuyuan, Song Linhua, Tang Tao, et al. Microbial production of CO₂ in red soil in Stone Forest national park [J]. *Carsologica Sinica*, 2003, 22(1): 6~11 [梁福源, 宋林华, 唐涛, 等. 路南石林土壤微生物含量及其对土壤 CO₂ 浓度的影响[J]. 中国岩溶, 2003, 22(1): 6~11]
- [24] Liu WY, Jin GF, Zheng ZA. Preliminary study on the litter-fall in evergreen broad-leaved forest and Pinus Yunnanensis forest in the middle of Yunnan province [J]. *Guihaia*, 1989, 9(4): 347~355 [刘文耀, 荆贵芬, 郑征. 滇中常绿阔叶林及云南松林凋落物的初步研究[J]. 广西植物, 1989, 9(4): 347~355]
- [25] Liu Wenyao, Jin Guifen, He Aijun. Nutrient dynamics in the litter-fall and forest floor of evergreen broad-leaved forest and Pinus Yunnanensis forest in central Yunnan [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1990, 32(8): 637~646 [刘文耀, 荆贵芬, 和爱军. 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[J]. 植物

- 学报. 1990, 32(8): 637~646]
- [26] Zhang Qingfei, Xu Rongdi. Standing crops of the litterfall in the succession series of evergreen broad-leaved forest in Tiantong, Zhejiang province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(2): 17~21 [张庆费,徐绒娣. 浙江天童常绿阔叶林演替过程的凋落物现存量[J]. 生态学杂志, 1999, 18(2): 17~21]
- [27] Chen Lingzhi, Lindley DK. The study on the litter decomposition in a bracken grassland ecosystem on Hampfell in England[J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1982, 6(4): 302~313 [陈灵芝, Lindley DK. 英国 Hampfell 蕨菜草地生态系统中枯叶分解作用的研究[J]. 植物生态学与地植物学丛刊. 1982, 6(4): 302~313]
- [28] Wang Fengyou. Review on the study of forest litterfall[J]. *Advance in Ecology*, 1989, 6(2): 82~89 [王凤友. 森林凋落量研究综述[J]. 生态学进展. 1989, 6(2): 82~89]
- [29] Liu Wenyao, Xie Shouchang, Xie Kejin, et al. Preliminary studies on the litterfall and coarse woody debris in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao mountains[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 37(10): 807~814 [刘文耀, 谢寿昌, 谢克金, 等. 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[J]. 植物学报, 1995, 37(10): 807~814]
- [30] Sundarapandian SM, Swamy PS. Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodayar in the Western Ghats, India[J]. *Forest Ecology and Management*, 1999, 123: 231~244
- [31] Wang YM. Summary of researches on water and soil conservative function of litter in forestland in China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(4): 108~113 [王佑民. 中国林地枯枝落叶持水保土作用研究概况[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 108~113]

Dynamics of Litterfall and Litter on Forest Floor of Natural Forest and Plantations in Stone Forest World Geological Park

WU Yi^{1,2}, LU Wenyao^{1,3}, SHEN Youxin^{1,2}, CUI Jianwu^{1,2}, LI Yuhu⁴, LU Lunhui¹

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. School of Environmental Biology, Curtin University of Technology, GPO Box U1987 Perth, WA 6845, Australia;

4. College of Tourism and Geography Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

Abstract: The composition and quantity of litterfall, and standing crop and water holding capacity of litter on forest floor of natural forest and plantations in karst mountainous area were investigated from 2003 to 2004 in the Stone Forest World Geological Park, Yunnan Province. The annual litterfall of natural *Cyclobalanopsis glaucooides* forest was 7.26 t/hm², while it was 1.98 t/hm², 2.49 t/hm² and 4.07 t/hm² in the secondary forest of *Neolitsea hamiantha*, *Pinus yunnanensis* plantation and *Cupressus duclouxiana* Plantation, respectively. The seasonality of litterfall is bimodal in all the forests. The order of the standing crop of litter on forest was *C. duclouxiana* Plantation (13.59 t/hm²) > *C. glaucooides* forest (7.57 t/hm²) > *N. hamiantha*, secondary forest (5.02 t/hm²) > *P. yunnanensis* plantation (4.83 t/hm²). The pattern of water holding capacity of litter on forest floor of different forests was similar to the order of the standing crop. Based on the quantitative relationship of litterfall and litter on forest floor, it showed that the decomposition quotient of litter on forest floor was faster in the natural forest dominated by *C. glaucooides* than other forests in the area. Therefore, it was suggested that attention should be paid to conservation of the natural forest, and introduction of some suitable species to the monoculture plantation and also to protection of cover plants and litter on forest floor so as to regulate the composition and structure of the community and improve the integrative effect of the plantations.

Key words: litterfall; litter on forest floor; water holding capacity; Karst; natural forest; plantation; stone forest world Geopark