

云南哀牢山原生林及次生林群落 附生地衣物种多样性与分布

李 苏^{1,2} 刘文耀^{1,4*} 王立松³ 杨国平¹ 李达文¹

1 (中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 昆明 650223)

2 (中国科学院研究生院, 北京 100049)

3 (中国科学院昆明植物研究所, 昆明 650204)

4 (Curtin University of Technology, Perth WA 6845, Australia)

摘要: 附生地衣是森林附生植物的重要类群之一, 在维护森林生态系统的物种多样性以及水分和养分循环等方面发挥着重要作用。作者于2005年12月至2006年5月利用树干取样法调查了云南哀牢山徐家坝地区原生山地常绿阔叶林及其次生群落栎类萌生林、滇山杨(*Populus bonatii*)林和花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)人工林中525株不同种类和径级树木距地面 0–2.0 m处附生地衣的组成和分布, 并收集了各个群落地面上凋落的地衣, 分析了林冠层附生地衣的物种组成。研究结果表明, 该区森林中附生地衣物种比较丰富。共收集到附生地衣61种, 分属17科29属, 其中原生林、栎类萌生林、滇山杨林和花椒人工林分别有51、53、46和23种。在树干距地面 0–2.0 m位置, 各群落中的附生地衣组成明显不同; 但在林冠层中, 各群落内的附生地衣基本相似。原生林中附生地衣种类较多, 但分布不均匀。树干附生地衣的Shannon-Wiener和Simpson多样性指数以栎类萌生林最高, 分别为2.71和0.89; 花椒林和滇山杨林次之, 分别为2.43–2.45和0.88–0.89; 原生林最低, 为1.25和0.67。树干方位、宿主种类和宿主径级等都对附生地衣的物种组成和多样性有着重要影响, 附生地衣更多地出现于树干南向方位, 云南越桔(*Vaccinium duclouxii*)的附生地衣最为丰富, 胸径5.0–25.0 cm的树木上附生地衣较多。哀牢山山地森林群落中丰富的附生地衣种类及物种多样性在维系本区山地森林生态系统生物多样性格局方面具有重要的作用。

关键词: 附生地衣, 物种多样性, 山地森林, 宿主, 哀牢山

Species diversity and distribution of epiphytic lichens in the primary and secondary forests in Ailao Mountain, Yunnan

Su Li^{1,2}, Wenyao Liu^{1,4*}, Lisong Wang³, Guoping Yang¹, Dawen Li¹

1 Kunming Divison, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China

4 Curtin University of Technology, Perth WA 6845, Australia

Abstract: Epiphytic lichens, an important component of epiphytes, play vital roles in biodiversity sustainability, water and nutrient cycling in forest ecosystems. Species composition and distribution of epiphytic lichens on trunk at 0–2.0 m height were surveyed on 525 individual trees, and lichen litterfall was collected over two year (2005–2006) in primary forest and three secondary forests in Xujiaba region of Ailao Mountain, Yunnan. The results showed that the epiphytic lichens were abundant in these forests. In total, 61 lichens species belonging to 26 genera and 17 families were recorded. Of them, 51 species were found in the primary forest, 53 species in oak coppice and 46 species in *Populus bonatii* forest, while only 26 species in *Zanthoxylum bungeanum* plantation. There were significant differences in composition and diversity of epiphytic lichens on trunks between the primary and secondary forests, whereas the main species of lichens was

收稿日期: 2007-03-15; 接受日期: 2007-06-16

基金项目: 国家自然科学基金(30470305)、中国科学院野外台站基金项目和中国科学院“百人计划”项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: liuwya@xtbg.ac.cn

similar in canopies of the primary and secondary forests. The primary forest had more lichen species, with unevenness distribution. The Shannon-Wiener index and Simpson index of lichens on trunks at 0–2.0 m height were 2.71 and 0.89 for the oak coppice, 2.43–2.45 and 0.88–0.89 for the secondary *P. bonatii* forest and *Z. bungeanum* plantation, and 1.25 and 0.67 for the primary forest, respectively. The composition and distribution of lichens were influenced by the aspects of the trunks, host trees and their sizes. Richer number and amounts of lichens are found on southern aspect of trunks. *Vaccinium duclouxii* was the host tree with the richest epiphytic lichens in the forests in the area. Most epiphytic lichens occurred on medium stems of DBH 5.0–25.0 cm. The rich species diversity of epiphytic lichens and their distribution patterns were important for maintaining biodiversity and ecological processes in the montane forest ecosystems.

Key words: epiphytic lichen, species diversity, montane forest, host tree, Ailao Mountain

随着人们对森林生态系统了解的不断深入, 附生生物作为森林生态系统重要的结构性和功能性元素, 已经引起了有关研究者越来越多的重视 (Lowman & Nadlkrni, 1995; Lowman & Rinker, 2004; 刘文耀等, 2006)。生长在树木及其残体上的各种地衣, 常被称为附生地衣(epiphytic lichen), 或树生地衣(arboreal lichen)、木生地衣(epixylic lichen)、树皮生地衣(corticolous lichen)等, 是林冠附生生物的重要组成部分, 在森林生态系统的物种多样性和完整性维持、水分和营养循环以及环境变化监测等方面都发挥着重要作用。早在 1886 年, Nylander 就观察到巴黎市公园中某些树生地衣种类由于大气污染而消失(张朝晖等, 2001)。随后附生地衣生态学的研究逐渐引起了国际上一些学者的关注, 特别是 20 世纪 50 年代以后, 对欧美地区以松杉类为代表的北方针叶林和以栎属为代表的温带阔叶林森林系统内附生地衣的物种组成、分布规律以及生态功能等方面都进行了较为广泛的研究 (Barkman, 1958; Sillet, 1995; Kuusinen, 1996a, b, c; Sillett & Goslin, 1999; Jürriado *et al.*, 2003)。但相对而言, 对于广大的热带、亚热带森林系统中附生地衣的生态学研究还相对较少, 其物种组成、分布规律以及生态功能等还不十分清楚。

国内有关附生地衣的生态学研究还刚刚开始。近年来除艾尼瓦尔·吐米尔等(2003, 2005, 2006)研究了天山和阿勒泰东部山区森林树生地衣的多样性与分布以外, 国内这方面的研究报道还不多。我国分布有世界上面积最大的亚热带常绿阔叶林, 但对亚热带常绿阔叶林中附生地衣的组成、多样性及其空间分布特征了解不多。随着社会经济活动不断增加, 很多地区的亚热带常绿阔叶林植被遭到严重破坏, 使得对环境变化异常敏感的附生地衣物种的组

成和分布格局发生了很大变化, 研究其动态可以进一步揭示森林生态系统的变化规律。

位于我国西南地区的云南哀牢山国家级自然保护区, 分布着目前我国亚热带地区面积最大、保存最完整的地带性常绿阔叶林, 森林结构较为完整, 生境温凉潮湿, 是我国西南地区低纬高原山地森林的重要类型。附生地衣是林内发达的附生植物的重要类群之一, 且在保护区周围还有小面积在自然或人为干扰状态下形成的次生群落, 有利于开展对比实验(游承侠, 1983)。本研究以哀牢山山地湿性常绿阔叶林及典型次生群落为主要对象, 比较了各群落中附生地衣的种类组成、多样性、分布特征, 以及它们与宿主种类和宿主径级之间的相互关系。

1 研究方法

1.1 研究地概况

哀牢山位于云南高原西南部横断山区南段, 属云岭山脉向南分支的余脉(吴征镒, 1983)。本研究地点位于哀牢山国家级自然保护区核心区的徐家坝地区, 地理位置 24°32'N, 102°02'E, 海拔 2,400–2,700 m。中国科学院哀牢山生态站 1996–2005 年气象资料显示, 该地区年平均降雨量 1,947 mm, 年平均蒸发量 1,192 mm, 相对湿度 85%。年平均气温 11.3°C, 最冷月平均气温(1 月)5.6°C, 最热月平均气温(7 月)15.7°C, 全年无霜期约 180 d, 气候终年温凉潮湿。

徐家坝地区在海拔 2,400–2,600 m 范围内, 连续分布着大片以木果石栎(*Lithocarpus xylocarpus*)为标志的原生山地湿性常绿阔叶林, 约占该区总面积的 80%。树种还包括腾冲栎(*Castanopsis wattii*)、景东石栎(*L. chintungensis*)、珊瑚冬青(*Ilex corallina*)、滇木荷(*Schima noronhae*)、舟柄茶(*Hartia sinensis*)

等。乔木层高18–25 m, 胸径30–50 cm, 林相完整, 乔木层盖度达95%以上, 林冠层附生地衣密布(Liu *et al.*, 2002)。在海拔2,600 m以上地段分布着以倒卵叶石栎(*L. pachylloides*)为代表的山顶苔藓林。该区域的次生植被主要有栎类萌生林、滇山杨(*Populus bonatii*)林、云南松(*Pinus yunnanensis*)林等, 在个别地段也有少量人工栽培的花椒林和茶林等。

栎类萌生林是常绿阔叶林受到人为砍伐后萌生形成的次生林, 主要分布于三棵树附近原始林中, 面积60 hm²左右。该群落高15 m左右, 乔木层盖度约90%, 主要由景东石栎、木果石栎、云南越桔(*Vaccinium duclouxii*)、米饭花(*Lyonia ovalifolia*)等组成, 树干及林冠层常有地衣附生。

滇山杨林是常绿阔叶林遭到人为砍伐、反复火烧垦荒后形成的。群落高10–12 m, 以滇山杨为主, 伴生有景东石栎、绿背石栎(*L. hypoviridis*)、云南越桔、珊瑚冬青等, 盖度60–70%(邱学忠和谢寿昌, 1998)。

花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)林是当地人们对个别地段砍伐小面积森林后种植的单一树种经济林, 高1.5–2.0 m, 种植密度1,110株/ha, 覆盖度约50%, 主干不明显, 分枝较低, 附生地衣密布, 甚至影响到花椒树的开花结实。

1.2 野外调查

在各个群落分布的典型区域, 共设立20个20 m×20 m的调查样地, 其中原生林、栎类萌生林和滇山杨林中各设立5–6个样地, 花椒林因面积有限, 只设立3个样地。

(1) 林冠层附生地衣物种组成调查。由于保护区内严禁砍伐, 直接进入林冠采样不仅困难, 而且也很难获得整个林冠层中所有附生地衣的种类和数量。因此, 借鉴国外研究者(McCune, 1994; Sillett & Goslin, 1999)采用的凋落物收集法, 在林内地面设立若干个4 m×4 m的样方, 在当地凋落物旺季的2005年12月至2006年5月的每月月末收集地衣凋落物进行物种鉴定。

(2) 在比较不同类型森林群落中附生植物组成与分布时, 通常采用定位调查法。我们分别调查了原生林及次生群落中不同径级、不同宿主树干距地面0–2.0 m高度范围内附生地衣的种类、数量及分布。根据各个群落内树木径级分布的情况, 将调查的样木分为两类:

一类是胸径(DBH)<10 cm的小径级样木, 每个样地选取胸径3.5–10.0 cm的样木10株, 分别在距地面0–0.5 m、0.5–1.3 m、1.3–2.0 m的位置上各设置1个面积为400 cm²(20 cm×20 cm 或10 cm×40 cm)的铁丝网小样方;

另一类是胸径≥10 cm的中大径级样木, 每个样地选取20株, 分别在0–0.5 m、0.5–1.3 m、1.3–2.0 m的位置, 分为南向(阳面)和北向(阴面)两个方位, 各设置1个面积为400 cm²(20 cm×20 cm或10 cm×40 cm)的铁丝网小样方。每个小样方由256个1.25 cm×1.25 cm的小方格组成, 记录小样方内出现的每个地衣物种及其所占网格数。

盖度以地衣物种出现的网格数占网格总数的百分数表示(Hauck *et al.*, 2001; Hauck & Meißner, 2002), 频度以地衣物种出现的小样方数占小样方总数的百分数表示(Hauck *et al.*, 2001; Castello & Skert, 2005)。

对于花椒人工林, 由于树种单一、树木高度低、分枝较细, 为了便于和其他群落比较, 在3个调查样地内各选取5株样木, 在距地面0–0.5 m、0.5–1.3 m、1.3–2.0 m位置上各设立8个5 cm×20 cm(总面积800 cm², 相当于2个400 cm²的样方)的铁丝网小样方, 调查附生地衣的分布。

此外, 在本研究中还调查比较了本区域森林优势树种木果石栎、景东石栎、珊瑚冬青、腾冲栎、滇山杨、云南越桔、米饭花、绿背石栎、滇木荷等在次生群落内0–2.0 m树干附生地衣组成与分布, 以了解附生地衣与宿主的关系。

对野外调查中那些不能确定的种类, 采集标本带回昆明进行研究和鉴定, 凭证标本存于中国科学院昆明植物所标本馆(KUN)。

1.3 数据处理

根据原生林及次生群落中收集到的附生地衣凋落物的物种数, 用丰富度指数(S)表示它们的物种多样性; 同时, 我们根据树干附生地衣的调查数据, 计算各个附生地衣种类的重要值: 重要值(IV) = 相对频度(F)+相对盖度(C)。

采用Shannon-Wiener指数(H)、Simpson指数(D)计算地衣物种多样性: $H = -\sum P_i \ln P_i$; $D = 1/\sum P_i^2$ 。式中, P_i 为种 i 的相对重要值, $P_i = N_i/N$, N_i 为种 i 的绝对重要值, N 为重要值之和(郭正刚等, 2004; 徐海清和刘文耀, 2005)。

此外, 还采用Sorensen相似性系数(C_S)计算不同样本之间地衣物种组成上的相似程度: $C_S = 2a/(A+B)$ 。式中, C_S 为Sorensen相似性指数, A 和 B 为样本1和2的物种数, a 为两个样本共有的物种数。

2 结果

2.1 附生地衣的多样性

根据对525株样木的调查和各群落地衣凋落物收集的结果(表1), 共获得附生地衣61种, 分属17科29属。原生林中大多数附生地衣分布于林冠层中, 而0–2.0 m树干上附生地衣很少, 只有5种。次生群落中树干上附生地衣相对较多, 一些种在树干和林冠层均有分布。各群落附生地衣丰富度排序为: 栎类萌生林(53) > 原生林(51) > 滇山杨林(46) > 花椒林(23), 表明山地常绿阔叶林和栎类萌生林有较多的附生地衣种类。此外, 通过计算比较各群落间0–2.0 m树干位置上附生地衣的Shannon-Wiener和Simpson多样性指数, 结果表明栎类萌生林最高, 花椒林和滇山杨林次之, 而原生林最低。原因是原生林林冠层覆盖度大、林下光照不足, 树干位置上附生地衣种类较少; 而次生群落林冠层盖度较低, 光照条件较好, 树干位置也比较适合附生地衣的生长。

2.2 附生地衣的物种组成与分布

在原生林、栎类萌生林和滇山杨林群落中, 多数附生地衣分布于森林上部的林冠层中, 其物种数分别占到各群落地衣总物种数的90.2%、77.4%和78.3%; 而在2 m以下树干上分布较少, 分别仅占9.8%、64.2%和47.8%。在原生林中, 树干和林冠层无相同的地衣种类出现; 栎类萌生林和滇山杨林

中, 树干和冠层分布的相同地衣种类分别占各自群落总物种数的41.5%和26.1%; 花椒人工林由于种植密度低、树矮、分枝低, 调查到的23种地衣均分布于树冠各分枝上。

不同群落中树干附生地衣的组成与分布均存在较大差异(表2)。原生林仅有高山文字衣(*Graphis alpestris*)、半裂文字衣(*G. fissofurcata*)、石梅衣(*Parmelia saxatilis*)、柄扇牛皮叶(*Sticta gracilis*)、双缘牛皮叶(*S. duplolibata*) 5种附生地衣出现; 次生林中附生地衣种类较为丰富, 其中橄榄斑叶(*Cetrelia olivetorum*)、灰条双歧根(*Hypotrachyna pseudosinuosa*)、半裂文字衣、高山文字衣、蓝天猫耳衣(*Leptogium azureum*)等是栎类萌生林的优势种; 滇山杨中附生地衣以半裂文字衣、蓝天猫耳衣、光肺衣(*Lobaria kurokawae*)、橄榄斑叶、柄扇牛皮叶、平滑牛皮叶(*Sticta nylanderiana*)等为主; 花椒林中附生地衣则主要由松萝(*Usnea florida*)、短根条衣(*Everniastrum nepalense*)、树花(*Ramalina canduplicans*)、大叶梅(*Parmotrema tinctorum*)、树亚铃孢(*Heterodermia dendritica*)和卷梢亚铃孢(*H. boryi*)等种类组成。

森林上部林冠层是附生地衣分布较多的地方(表3)。其中刺小孢发(*Bryoria confusa*)、橄榄斑叶、白赤星衣(*Haematomma puniceum*)、云南袋衣(*Hypogymnia yunnanensis*)、孔叶衣(*Menegazzia terebrata*)、成长梅衣(*Parmelia adaugescens*)、平滑牛皮叶、槽枝衣(*Sulcaria sulcata*)以及多种肺衣、多种条衣、多种亚铃孢、多种肾岛衣和多种松萝等均出现于各群落林冠层中。

各个群落中附生地衣整体组成与分布也有各

表1 哀牢山原生及次生森林群落附生地衣的多样性

Table 1 Epiphytic lichen diversity in primary and secondary forests in Ailao Mountain

参数 Variables	原生林 Primary forest	次生林 Secondary forests		
		栎类萌生林 Oak coppice	滇山杨林 <i>Populus bonatii</i> forest	花椒林 <i>Zanthoxylum bungeanum</i> plantation
林冠层 In canopies				
地衣种数 No. of lichen species	46	41	36	—
0–2.0 m树干 On trunks at 0–2.0 m height				
地衣种数 No. of lichen species	5	34	22	—
Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index	1.25	2.71	2.45	2.43
Simpson指数 Simpson index	0.67	0.89	0.89	0.88
总丰富度指数 Species richness index	51	53	46	23

Shannon-Wiener指数和Simpson指数表示距地面0–2.0 m树干附生地衣的多样性 Shannon-Wiener index and Simpson index show the diversity of lichens on trunks of host trees at 0–2.0 m height.

表2 哀牢山原生及次生森林群落树干附生地衣的物种组成

Table 2 Species composition of epiphytic lichens on trunks of trees in primary and secondary forests in Ailao Mountain

种类 Species	原生林 Primary forest			栎类萌生林 Oak coppice			滇山杨林 <i>Populus bonatii</i> forest			花椒林 <i>Zanthoxylum bungeanum</i> plantation		
	F (%)	C (%)	IV (%)	F (%)	C (%)	IV (%)	F (%)	C (%)	IV (%)	F (%)	C (%)	IV (%)
白绵腹衣黑腹变型 <i>Anzia leucobatooides</i> f. <i>hypomelaena</i>	—	—	—	0.41	0.61	1.02	—	—	—	—	—	—
橄榄斑叶 <i>Cetrelia olivetorum</i>	—	—	—	23.25	30.05	53.30	14.10	9.23	23.34	2.46	1.37	3.83
石蕊一种 <i>Cladonia</i> sp.	—	—	—	2.88	0.95	3.83	—	—	—	—	—	—
环纹瓦衣 <i>Coccocarpia erythroxyli</i>	—	—	—	0.21	0.08	0.29	2.35	1.19	3.54	—	—	—
条衣 <i>Everniastrum cirrhatum</i>	—	—	—	0.41	0.22	0.63	1.81	1.47	3.28	0.16	0.04	0.20
短根条衣 <i>E. nepalense</i>	—	—	—	5.76	2.69	8.45	2.53	1.24	3.77	12.15	16.72	28.87
灌根条衣 <i>E. rhizodendroideum</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.15	0.42	1.57
白粉拟文衣 <i>Graphina soozana</i>	—	—	—	—	—	—	0.18	0.14	0.32	—	—	—
高山文字衣 <i>Graphis alpestris</i>	22.27	67.86	90.13	3.91	10.49	14.40	1.81	6.19	8.00	—	—	—
半裂文字衣 <i>G. fissofurcata</i>	44.46	27.14	71.60	6.58	14.87	21.45	11.39	28.99	40.38	0.16	0.03	0.19
多层文字衣 <i>G. proserpens</i>	—	—	—	0.62	0.82	1.44	0.18	0.32	0.50	—	—	—
文字衣蛇形变种 <i>G. scripta</i> var. <i>serpentina</i>	—	—	—	0.62	1.69	2.31	—	—	—	—	—	—
白赤星衣 <i>Haematomma puniceum</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.25	0.87	6.12
卷梢亚铃孢 <i>Heterodermia boryi</i>	—	—	—	0.62	0.48	1.10	—	—	—	7.72	6.01	13.73
丛毛亚铃孢 <i>H. comosa</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.45	0.59	4.04
白腹亚铃孢 <i>H. hypoleuca</i>	—	—	—	0.21	0.04	0.25	1.45	1.15	2.59	—	—	—
树亚铃孢 <i>H. dendritica</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.20	4.59	13.79
云南袋衣 <i>Hypogymnia yunnanensis</i>	—	—	—	3.91	1.34	5.25	—	—	—	1.81	0.51	2.32
双歧根一种 <i>Hypotrachyna</i> sp.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.48	0.55	2.03
灰条双歧根 <i>H. pseudosinuosa</i>	—	—	—	13.58	11.14	24.72	1.27	0.87	2.14	—	—	—
粉缘绵毛衣 <i>Leioderma soorediatum</i>	—	—	—	3.09	0.52	3.61	0.36	0.05	0.41	—	—	—
蓝天猫耳衣 <i>Leptogium azureum</i>	—	—	—	7.41	2.73	10.14	19.89	10.14	30.03	—	—	—
猫耳衣 <i>L. menziesii</i>	—	—	—	1.44	0.43	1.87	3.62	4.31	7.93	—	—	—
裂芽肺衣 <i>Lobaria isidiosa</i>	—	—	—	1.03	1.21	2.24	0.90	0.50	1.40	—	—	—
光肺衣 <i>L. kurokawae</i>	—	—	—	2.47	1.21	3.68	12.84	12.75	25.59	—	—	—
网脊肺衣 <i>L. retigera</i>	—	—	—	1.44	3.82	5.26	—	—	—	—	—	—
孔叶衣 <i>Menegazzia terebrata</i>	—	—	—	4.32	1.65	5.97	0.36	0.32	0.68	1.64	0.42	2.06
瑞士肾盘衣 <i>Nephroma helveticum</i>	—	—	—	0.21	0.13	0.34	—	—	—	—	—	—
皮革肾岛衣 <i>Nephromopsis pallescens</i>	—	—	—	0.62	0.87	1.49	—	—	—	2.96	0.89	3.85
石梅衣 <i>Parmelia saxatilis</i>	11.09	2.15	13.24	—	—	—	3.98	4.95	8.93	6.57	2.78	9.35
睫毛大叶梅 <i>Parmotrema cetratum</i>	—	—	—	0.41	0.35	0.76	—	—	—	4.92	3.10	8.02
无毛大叶梅 <i>P. eciliatum</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.97	0.51	2.48
大叶梅 <i>P. tinctorum</i>	—	—	—	2.46	2.95	5.41	0.90	1.42	2.32	9.69	7.56	17.25
地卷 <i>Peltigera rufescens</i>	—	—	—	0.21	0.39	0.60	—	—	—	—	—	—
复合鸡皮衣 <i>Pertusaria composita</i>	—	—	—	0.81	2.21	3.02	1.45	1.28	2.73	—	—	—
黑拟文衣一种 <i>Phaeographina</i> sp.	—	—	—	1.64	2.95	4.59	—	—	—	—	—	—
树花 <i>Ramalina canduplicans</i>	—	—	—	0.21	0.08	0.29	—	—	—	11.99	13.64	25.63
<i>R. peruviana</i>	—	—	—	0.21	0.08	0.29	—	—	—	0.16	0.06	0.22
中国树花 <i>R. sinensis</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.15	0.16	1.31
双缘牛皮叶 <i>Sticta duplolibata</i>	11.09	0.71	11.80	1.44	0.30	1.74	0.18	0.05	0.23	—	—	—
柄扇牛皮叶 <i>S. gracilis</i>	11.09	2.14	13.23	5.76	1.13	6.89	12.66	3.49	16.15	—	—	—
平滑牛皮叶 <i>S. nylanderiana</i>	—	—	—	0.41	1.30	1.71	5.79	9.95	15.74	—	—	—
槽枝衣 <i>Sulcaria sulcata</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.49	0.03	0.52
松萝一种 <i>Usnea</i> sp.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.30	0.66	2.96
松萝 <i>U. florida</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.17	38.49	49.66
<i>U. nidifica</i>	—	—	—	1.44	0.22	1.66	—	—	—	—	—	—
合计 Total	100.00	100.00	200.00	100.00	100.00	200.00	100.00	100.00	200.00	100.00	100.00	200.00

F: 频度 Frequency; C: 盖度 Coverage; IV: 重要值 Importance value

表3 哀牢山原生及次生森林群落林冠层附生地衣的物种组成
Table 3 Species composition of epiphytic lichens in canopies of primary and secondary forests in Ailao Mountain

种类 Species	原生 林 Primary forest	栎类萌 生林 Oak coppice	滇山杨 林 Populus bonatii forest
淡绵腹衣 <i>Anzia hypoleucoidea</i>	+	-	+
白绵腹衣黑腹型 <i>A. leucobatoidea</i> f. <i>hypomelaena</i>	+	+	+
棒根绵腹衣 <i>A. physioidea</i>	+	-	-
刺小孢发 <i>Bryoria confusa</i>	+	+	+
橄榄斑叶 <i>Cetrelia olivetorum</i>	+	+	+
毛面衣 <i>Erioderma meiocarpum</i>	-	+	-
条衣 <i>Everniastrum cirrhatum</i>	+	+	+
短根条衣 <i>E. nepalense</i>	+	+	+
灌根条衣 <i>E. rhizodendroideum</i>	+	+	+
白粉拟文衣 <i>Graphina soozana</i>	+	+	+
多层文字衣 <i>Graphis proserpens</i>	-	+	-
白赤星衣 <i>Haematomma puniceum</i>	+	+	+
卷梢亚铃孢 <i>Heterodermia boryi</i>	+	+	+
丛毛亚铃孢 <i>H. comosa</i>	+	+	+
树亚铃孢 <i>H. dendritica</i>	+	+	+
白腹亚铃孢 <i>H. hypoleuca</i>	+	+	+
云南袋衣 <i>Hypogymnia yunnanensis</i>	+	+	+
双歧根一种 <i>Hypotrachyna</i> sp.	+	+	+
丽双歧根 <i>H. adducta</i>	+	+	+
灰条双歧根 <i>H. pseudosinuosa</i>	+	+	+
粉缘绵毛衣 <i>Leioderma sorediatum</i>	-	+	-
蓝天猫耳衣 <i>Leptogium azureum</i>	-	+	-
猫耳衣 <i>L. menziesii</i>	+	-	+
土星猫耳衣 <i>L. saturninum</i>	+	+	-
针芽肺衣 <i>Lobaria isidiophora</i>	+	+	-
裂芽肺衣 <i>L. isidiosa</i>	+	+	-
光肺衣 <i>L. kurokawae</i>	+	+	+
网脊肺衣 <i>L. retigera</i>	+	+	+
孔叶衣 <i>Menegazzia terebrata</i>	+	+	+
赖氏肾岛衣 <i>Nephromopsis laii</i>	+	-	-
丽肾岛衣 <i>N. ornata</i>	+	+	+
皮革肾岛衣 <i>N. pallescens</i>	+	+	+
宽瓣肾岛衣 <i>N. stracheyi</i>	+	-	+
亚洲砖孢发 <i>Oropogon asiaticus</i>	+	-	-
成长梅衣 <i>Parmelia adaugescens</i>	+	+	+
睫毛大叶梅 <i>Parmotrema cetratum</i>	+	+	+
无毛大叶梅 <i>P. eciliatum</i>	+	+	+
大叶梅 <i>P. tinctorum</i>	+	+	+
复合鸡皮衣 <i>Pertusaria composita</i>	+	+	+
树花 <i>Ramalina canduplicans</i>	+	+	+
<i>R. peruviana</i>	+	-	-
中国树花 <i>R. sinensis</i>	+	-	-
平滑牛皮叶 <i>Sticta nylanderiana</i>	+	+	+
宽叶牛皮叶 <i>S. platyphylloides</i>	+	-	-
槽枝衣 <i>Sulcaria sulcata</i>	+	+	+
松萝一种 <i>Usnea</i> sp.	+	+	+
松萝 <i>U. florida</i>	+	+	+
<i>U. nidifica</i>	+	+	+
东方松萝 <i>U. orientalis</i>	+	+	+
深红松萝 <i>U. rubicunda</i>	+	+	-

自的特点。棒根绵腹衣(*Anzia physioidea*)、赖氏肾岛衣(*Nephromopsis laii*)、亚洲砖孢发(*Oropogon asiaticus*)、宽叶牛皮叶(*Sticta platyphylloides*)等仅出现于以木果石栎等为标志的原生林林冠层中;毛面衣(*Erioderma meiocarpum*)、石蕊一种(*Cladonia* sp.)和瑞士肾盘衣(*Nephroma helveticum*)仅出现于栎类萌生林中。滇山杨林中附生地衣种类较多,但多为广布种。花椒林中地衣物种数锐减,但盖度较大,形成以松萝占绝对优势的附生地衣群落,而在其他3种群落中广布的肺衣属和牛皮叶属地衣等则在花椒人工林中完全消失。

2.3 附生地衣物种组成的相似性

原生林及次生林群落在附生地衣的物种组成上有着较高的相似性。结合林冠层和树干附生地衣分布数据,两两群落间附生地衣共有种为21-43种,相似性均在0.500以上(表4)。原生林和栎类萌生林、原生林和滇山杨林、栎类萌生林和滇山杨林之间,附生地衣共有种最多,均为42-43种,相似性高达0.827-0.869;而它们和花椒林之间共有种仅为21-23种。

2.4 树干不同方位附生地衣物种的组成与分布

在原生林、栎类萌生林和滇山杨林中胸径 ≥ 10 cm的中大径级样木上,在树干2.0 m以下南向方位和北向方位的附生地衣物种组成和分布均有很大不同(表5)。原生林中,树干仅有的5种地衣更多地分布于北向方位;而栎类萌生林和滇山杨林中,南向方位附生地衣的盖度、频度以及物种数均高于北向方位。而且,滇山杨林树干北向方位的15种附生地衣均同时出现于南向方位,栎类萌生林树干北向方位的15种附生地衣有14种也出现于南向方位。另外,还有某些地衣仅发现于树干南向方位,如粉缘绵毛衣(*Leioderma sorediatum*)等。

2.5 次生群落树干附生地衣物种组成与宿主的关系

2.5.1 不同宿主树干附生地衣物种的分布

宿主种类的不同常常造成附生地衣的物种分布发生变化。调查木果石栎、景东石栎、珊瑚冬青、腾冲栲、滇山杨、云南越桔、米饭花、绿背石栎、滇木荷等9种优势树种,发现附生地衣物种数量范围在3-22之间。各树种2.0 m以下树干附生地衣丰富度从大到小排序为:云南越桔(22)>景东石栎(19)>珊瑚冬青(18)>滇山杨(16)=米饭花(16)>绿背

表4 哀牢山不同森林群落附生地衣的共有物种数(对角线上方)和相似性系数(对角线下方)

Table 4 Number of sharing species (above the diagonal) and similarity (below the diagonal) of epiphytic lichens among different forests in Ailao Mountain

森林类型 Forest type	原生林 Primary forest	次生林 Secondary forest		
		栎类萌生林 Oak coppice	滇山杨林 <i>Populus bonatii</i> forest	花椒林 <i>Zanthoxylum bungeanum</i> plantation
原生林 Primary forest		43	42	23
栎类萌生林 Oak coppice	0.827		43	21
滇山杨林 <i>Populus bonatii</i> forest	0.866	0.869		21
花椒林 <i>Zanthoxylum bungeanum</i> plantation	0.622	0.553	0.609	

表5 哀牢山原生及次生森林群落树干北、南向附生地衣的分布

Table 5 Distribution of epiphytic lichens on trunks with northern and southern exposures in primary and secondary forests in Ailao Mountain

森林类型 Forest type	北向 Northern			南向 Southern		
	地衣种数 No. of species	相对盖度 Coverage (%)	相对频度 Frequency (%)	地衣种数 No. of species	相对盖度 Coverage (%)	相对频度 Frequency (%)
原生林 Primary forest	4	83	62	1	17	38
栎类萌生林 Oak coppice	15	12	16	25	88	84
滇山杨林 <i>Populus bonatii</i> forest	15	24	34	21	76	66

石栎(13)>木果石栎(10)>滇木荷(4)>腾冲栲(3)。

以不同宿主上的附生地衣共有种作比较(表6), 珊瑚冬青和云南越桔共有种最多, 达14种; 景东石栎和珊瑚冬青、景东石栎和滇山杨、景东石栎和云南越桔、珊瑚冬青和绿背石栎、绿背石栎和云南越桔、珊瑚冬青和滇山杨、云南越桔和米饭花之间次之, 都不少于10种; 腾冲栲和滇木荷、腾冲栲和滇山杨、云南越桔和滇木荷之间仅有1种; 而米饭花和腾冲栲之间则无共有种分布。9种树木共分布有34种地衣, 其中柄扇牛皮叶分布于除腾冲栲以外的其他8个树种; 橄榄斑叶、短根条衣、蓝天猫耳衣、半裂文字衣等分布于6-7个树种; 条衣(*E. cirrhatum*)、环纹瓦衣(*Coccocarpia erythroxyli*)、大叶梅等17种地衣也分布于3-5个树种; 而文字衣蛇形变种(*G. scripta* var. *serpentina*)、多层文字衣(*G. proserpens*)、网脊肺衣(*L. retigera*)等12种地衣则仅在1-2个树种出现。

2.5.2 不同径级树干附生地衣分布的比较

附生地衣的分布还和宿主径级有着较为密切的关系。选择木果石栎、景东石栎、珊瑚冬青、滇山杨、云南越桔、米饭花等6种径级分布相对均匀的树种, 比较同一树种不同径级间树干附生地衣物种分布的差异。结果显示(图1), 当树干径级区间集中在5.0-25.0 cm时, 6种树干附生地衣分布较为丰

富, 并在径级10.0-15.0 cm之间达到最高(27种)。但景东石栎在径级25.0-30.0 cm时同样也有较多地衣分布; 而当径级>30.0 cm时, 仅滇山杨树干有少量地衣分布。表明该区次生森林群落内树干附生地衣的物种数并不是随着宿主胸径的增加而出现简单的升高或者降低的趋势, 而是集中分布于某一径级区间之内, 而偏离这一区间, 比较不利于树干附生地衣的生长。

3 讨论

森林类型、环境条件以及人为干扰程度的不同, 常造成森林附生地衣的物种组成、多样性与分布存在着明显的差异。如澳大利亚Tasmania西部雨林中, 在一株伐倒的胸径>2 m的泪柏(*Lagarostrobos franklinii*)上采集到76种地衣(Jarman & Kantvilas, 1995); 泰国北部干旱龙脑香林(dry dipterocarp forest)、季节性常绿林和山地栲类林(montane fagaceous forest)中, 在距地面0-3.0 m高度(包括倒木)上调查到的附生地衣分别为62种、86种和107种(Wolseley & Aguirre-Hudaon, 1997), 均高于哀牢山地区所调查的4种森林群落的附生地衣数量(23-53种)。Sillett和Goslin(1999)曾利用凋落物法在美国俄勒冈州Eagle Rock地区黄杉(*Pseudotsuga menziesii*)林中收集到50种大型地衣, 略高于本地区利用相同

表6 哀牢山次生森林群落不同宿主附生地衣的共有物种数(对角线上方)和相似性(对角线下方)

Table 6 Number of shared species (above the diagonal) and similarity (below the diagonal) of epiphytic lichens among different host tree species in secondary forests in Ailao Mountain

树种 Species	木果石栎 <i>Lithocarpus xylocarpus</i>	景东石栎 <i>Lithocarpus chintungensis</i>	珊瑚冬青 <i>Ilex corallina</i>	腾冲栲 <i>Castanopsis wattii</i>	滇木荷 <i>Schima noronhae</i>	滇山杨 <i>Populus bonatii</i>	云南越桔 <i>Vaccinium duclouxii</i>	米饭花 <i>Lyonia ovalifolia</i>	绿背石栎 <i>Lithocarpus hypoviridis</i>
木果石栎 <i>Lithocarpus xylocarpus</i>		8	7	2	3	8	7	5	5
景东石栎 <i>Lithocarpus chintungensis</i>	0.533		13	3	4	12	12	9	8
珊瑚冬青 <i>Ilex corallina</i>	0.500	0.703		3	2	10	14	7	11
腾冲栲 <i>Castanopsis wattii</i>	0.308	0.273	0.286		1	1	2	0	2
滇木荷 <i>Schima noronhae</i>	0.429	0.348	0.182	0.286		4	1	3	2
滇山杨 <i>Populus bonatii</i>	0.615	0.686	0.588	0.105	0.400		9	8	6
云南越桔 <i>Vaccinium duclouxii</i>	0.412	0.571	0.700	0.154	0.074	0.462		10	11
米饭花 <i>Lyonia ovalifolia</i>	0.385	0.514	0.412	0.000	0.300	0.500	0.500		6
绿背石栎 <i>Lithocarpus hypoviridis</i>	0.435	0.500	0.710	0.154	0.235	0.414	0.595	0.414	

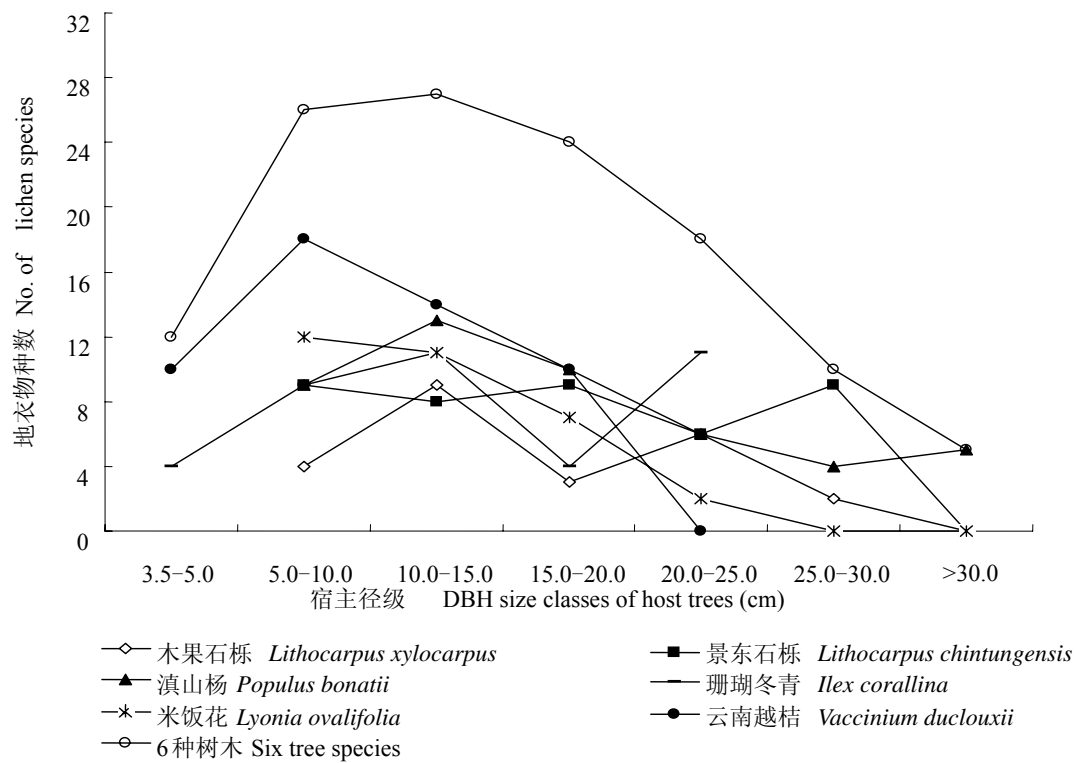


图1 哀牢山次生森林群落6种主要树木不同径级附生地衣的分布

Fig. 1 Distribution of epiphytic lichens on six host tree species with different DBH in secondary forests in Ailao Mountain

方法获得的林冠层地衣物种数(36–46种),但略低于本研究中结合树干所获得的总物种数(46–53种)。Hauck等(2001)在德国 Harz山50株挪威云杉(*Picea abies*) 1.0–2.0 m树干处仅收集到21种地衣; Gustafsson和Eriksson(1995)在瑞典Uppsala地区的欧洲山杨(*P. tremula*)林树干距地面0.5–1.5 m处也仅收集到12种,都远低于哀牢山地区。吐米尔等(2005)在新疆天山18个森林类型中收集到50种附生地衣,吐米尔和阿巴斯(2006)在阿勒泰东部山区18个森林类型中收集到40种附生地衣,都低于哀牢山地区。

哀牢山地区山地森林中附生地衣不仅种类丰富,而且物种组成也有独特的特征:

(1) 原生林中附生地衣的物种多样性并不显著高于栎类萌生林和滇山杨林,甚至还略低于栎类萌生林;3种群落的地衣组成相似性很高,都在0.800以上。这可能与该地区原生林是主要的地衣种源以及它和次生林的分布位置有关。Peck和McCune(1997)、Sillet和Goslin(1999)研究发现,人工林或天然林中保留的成熟树木或老树在附生地衣向周围幼树扩散的过程中发挥着种源库的作用,能够较快地提高森林生态系统内地衣的多样性。Caldiz和Brunet(2006)也发现阿根廷Patagonia地区的常绿假山毛榉林(*Nothofagus forest*)中,当老龄林和次生林间距为100–500 m时,前者附生地衣物种丰富度明显高于后者,并认为是它们的间隔距离限制了地衣的扩散。而在哀牢山徐家坝地区,次生林多数呈片断状镶嵌分布于已达到成熟期的原生木果石栎林之间,它们之间无明显距离间隔,原生林中的地衣物种很容易扩散到邻近的次生群落中生长;并且该地区空气湿度很高,人为干扰相对较少,因而次生森林群落物种已基本恢复,地衣多样性也比较丰富。

(2) 各群落中附生地衣分布的位置发生了明显变化:栎类萌生林和滇山杨林中在树干和林冠层均有较多地衣物种分布,而原生林中地衣则集中分布于林冠层。我们认为这可能和各群落内光照的变化有关。在栎类萌生林或滇山杨林向木果石栎林的演替过程中,早期群落乔木层盖度很低,林冠层和林下的光照都能够满足地衣生长需要,此时附生地衣的分布在树干和林冠层无较大差别;随着演替的进

程,乔木层盖度增加,林下光照减弱,导致树干部分越来越不适宜于附生地衣的生长,多数地衣更加倾向于分布于各群落的林冠层。

(3) 花椒林尽管光照充足,且与原生林间隔不远,但树种单一,因此附生地衣物种数量明显低于3种自然群落。说明人工经济林已明显干扰了当地森林生态系统次生演替的自然发生。

一般认为,宿主的种类和径级对附生地衣的分布也起着非常重要的作用(Loppi *et al.*, 1999; Juriado *et al.*, 2003)。Juriado等(2003)调查了爱沙尼亚130处分布在不同区域的森林距地面0–2.0 m处树干附生地衣的分布,发现欧洲山杨上生长的附生地衣种类高达110种,欧洲赤松(*Pinus sylvestris*) 62种。而Loppi等(1999)在意大利中部森林发现3种优势树种苦栎(*Quercus cerris*)、冬青栎(*Q. ilex*)、欧洲水青冈(*Fagus sylvatica*) 1.20–1.70 m处树干附生地衣则分别为36种、18种、20种。我们的研究也表明不同宿主的相同位置,附生地衣的物种分布差异也同样非常明显。以云南越桔为例,其2.0 m以下树干地衣物种数最高,达22种,其他树种10–19种不等,而滇木荷仅3种,分布差异异常显著。

但值得注意的是,尽管本地区次生森林群落内2.0 m以下树干附生地衣的分布不尽相同,但6个主要树种树干地衣物种数在宿主胸径为3.5–10.0 cm之间急剧增加,并在10.0–15.0 cm时达到最高(27种);然而当树干胸径>30 cm时,地衣很少或者几乎没有分布。这和国外部分研究中发现的某些地衣仅在某些宿主的一定径级间出现个体数量增加的现象有一定的相似(Hedenäs & Ericson, 2000; Gu *et al.*, 2001)。但在哀牢山地区则更多地体现在地衣物种组成数量上的变化。遗憾的是,由于实验条件的限制,我们无法调查单株树木林冠层附生地衣的分布和组成,难以全面了解不同宿主间的区别。

就研究方法而言,多用于树干下层(0–3.0 m)附生地衣分布调查的树干取样法和原用于林冠层大型地衣生物量调查的凋落物收集法,很少被结合使用。我们尝试将这两种方法结合起来,结果显示明显优于由单一取样方法获得的数据,减少了遗漏,能够更加全面地了解森林生态系统内附生地衣的真实分布。

哀牢山地区保存着较为丰富的附生地衣资源,

这给利用附生地衣的分布变化监测当地森林环境的变化以评价森林管理水平等提供了很好的尺度。然而, 由于采样过程中可能造成的小型地衣物种的遗漏和鉴定的困难, 以及该地区相对完整的地衣名录的缺乏, 都有可能造成研究中出现物种数的误差。而且, 该区附生地衣生物量的分布及其在森林生态系统营养循环、水分循环中的作用, 以及附生地衣对生境或环境变化的响应等方面的作用机制, 都有待进一步研究。

参考文献

- Barkman JJ (1958) *Phytosociology and Ecology of Cryptogamic Epiphytes*. Van Gorcum, Assen, Netherlands.
- Caldiz MS, Brunet J (2006) Litterfall of epiphytic macrolichens in *Nothofagus* forests of northern Patagonia, Argentina: relation to stand age and precipitation. *Austral Ecology*, **31**, 301–309.
- Castello M, Skert N (2005) Evaluation of lichen diversity as an indicator of environmental quality in the North Adriatic submediterranean region. *Science of the Environment*, **336**, 201–214.
- Gu WD, Kuusinen M, Konttinen T, Hanski I (2001) Spatial pattern in the occurrence of the lichen *Lobaria pulmonaria* in managed and virgin boreal forests. *Ecography*, **24**, 139–150.
- Guo ZG (郭正刚), Wang GX (王根绪), Shen YY (沈禹颖), Cheng GD (程国栋) (2004) Plant species diversity of grassland plant communities in permafrost regions of the northern Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **24**, 149–155. (in Chinese with English abstract).
- Gustafsson L, Eriksson I (1995) Factors of importance for the epiphytic vegetation of aspen *Populus tremula* with special emphasis on bark chemistry and soil chemistry. *Journal of Applied Ecology*, **32**, 412–424.
- Hauck M, Jung R, Runge M (2001) Relevance of element content of bark for the distribution of epiphytic lichens in a montane spruce forest affected by forest dieback. *Environmental Pollution*, **112**, 221–227.
- Hauck M, Meißner T (2002) Epiphytic lichen abundance on branches and trunks of *Abies balsamea* on Whiteface Mountain, New York. *Lichenologist*, **34**, 443–446.
- Hedenäs H, Ericson L (2000) Epiphytic macrolichens as conservation indicators: successional sequence in *Populus tremula* stands. *Biological Conservation*, **93**, 43–53.
- Jarman SJ, Kantvilas G (1995) Epiphytes on an old huon pine tree (*Lagarostrobos franklinii*) in Tasmanian rainforest. *New Zealand Journal of Botany*, **33**, 65–78.
- Jüriado I, Paal J, Liira J (2003) Epiphytic and epixylic lichen species diversity in Estonian natural forests. *Biodiversity and Conservation*, **12**, 1587–1607.
- Kuusinen M (1996a) Cyanobacterial macrolichens on *Populus tremula* as indicators of forest continuity in Finland. *Biological Conservation*, **75**, 43–49.
- Kuusinen M (1996b) Epiphyte flora and diversity on basal trunks of six old-growth forest tree species in southern and middle boreal Finland. *Lichenologist*, **28**, 443–463.
- Kuusinen M (1996c) Importance of spruce swamp-forests for epiphytic diversity and flora on *Picea abies* in southern and middle boreal Finland. *Ecography*, **19**, 41–51.
- Liu WY (刘文耀), Ma WZ (马文章), Yang LP (杨礼攀) (2006) Advances in ecological studies on epiphytes in forest canopies. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **30**, 522–533. (in Chinese with English abstract)
- Liu WY, Fox JD, Xu ZF (2002) Nutrient fluxes in bulk precipitation throughfall and stemflow in montane subtropical moist forest on Ailao Mountains in Yunnan, Southwest China. *Journal of Tropical Ecology*, **18**, 527–548.
- Loppi S, Bonini I, Dominicis VD (1999) Epiphytic lichens and bryophytes of forest ecosystems in Tuscany (central Italy). *Cryptogamie Mycologie*, **20**, 127–135.
- Lowman MD, Nadlkrmi NM (1995) *Forest Canopies*. Academic Press, California.
- Lowman MD, Rinker HB (2004) *Forest Canopies*, 2nd edn. Academic Press, California.
- McCune B (1994) Using epiphyte litter to estimate epiphyte biomass. *The Bryologist*, **97**, 396–401.
- Peck JE, McCune B (1997) Remnant trees and canopy lichen communities in western Oregon: a retrospective approach. *Ecological Applications*, **7**, 1181–1187.
- Qiu XZ (邱学忠), Xie SC (谢寿昌) (1998) *Studies on the Forest Ecosystem in Ailao Mountains, Yunnan, China* (哀牢山森林生态系统研究). Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese)
- Sillet SC (1995) Branch epiphyte assemblages in the forest interior and on the clearcut edge of a 700-year-old Douglas fir canopy in Western Oregon. *The Bryologist*, **98**, 301–312.
- Sillett SC, Goslin MN (1999) Distribution of epiphytic macrolichens in relation to remnant trees in a multiple-age Douglas-fir forest. *Canadian Journal of Forest Research*, **29**, 1204–1215.
- Tumur A (艾尼瓦尔·吐米尔), Abbas A (阿不都拉·阿巴斯) (2006) A preliminary study of community characteristics of corticolous lichen in forest ecosystem in Eastern Altay Mts. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **28**, 415–420. (in Chinese with English abstract)
- Tumur A (艾尼瓦尔·吐米尔), Abbas A (阿不都拉·阿巴斯), Mamut R (热衣木江·马木提), Omar Z (孜比尔尼沙·吾买尔) (2003) Preliminary study on the lichen community structure in forest ecosystem of western Tianshan Mountains. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **27**, 810–815. (in Chinese with English abstract)

- Tumur A (艾尼瓦尔·吐米尔), Abdulla A (阿地里江·阿不都拉), Abbas A (阿不都拉·阿巴斯) (2005) Numerical classification and species diversity of corticolous lichen communities in forest ecosystems of the Tianshan Mountains. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **29**, 615–622. (in Chinese with English abstract)
- Wolseley PA, Aguirre-Hudaon B (1997) The ecology and distribution of lichens in tropical deciduous and evergreen forests of northern Thailand. *Journal of Biogeography*, **24**, 327–343.
- Wu ZY (吴征镒) (1983) *Research of Forest Ecosystem on Ailao Mountain, Yunnan* (云南哀牢山森林生态系统研究). Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese)
- Xu HQ (徐海清), Liu WY (刘文耀) (2005) Species diversity and distribution of epiphytes in the montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountain, Yunnan. *Biodiversity Science* (生物多样性), **13**, 137–147. (in Chinese with English abstract)
- You CX (游承侠)(1983) *Classification of Vegetation in Xujiaba Region in Mts. Ailao* (哀牢山徐家坝地区的植被分类), pp. 117–148. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese)
- Zhang ZH (张朝晖), Shao J (邵晶), Chai ZF (柴之芳), Mao XY (毛雪瑛) (2001) Biomonitoring of atmospheric heavy metal deposition by moss and lichen analysis. *Nuclear Techniques* (核技术), **24**, 776–778. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 杨祝良 责任编辑: 时意专)