

哀牢山山顶苔藓矮林林冠腐殖土的养分含量 和微生物生物量特征

李泽西^{1,2}, 刘文耀¹, 陈林¹, 宋亮^{1,2}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 山顶苔藓矮林是中国西南地区热带、亚热带高山顶部一类重要而特殊的湿性常绿阔叶林, 附生植物非常发达, 其中以分解、半分解枯死残留物为主的林冠腐殖土是山地森林生态系统一个重要的养分库。以云南哀牢山山顶苔藓矮林为对象, 对其林冠腐殖土及林下 0 ~ 10 cm, 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 地表不同深度土壤的营养元素含量、微生物生物量及呼吸速率等进行了分析和测定。结果表明, 该山顶苔藓矮林中林冠腐殖土中有机 C、全 N、全 Ca、全 P 和全 Na 的含量, 水解 N、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 以及速效 K、速效 P 的含量明显地高于林下地表各层土壤; 在土壤微生物生物量 C、N 和呼吸速率方面, 雨季大于旱季, 林冠腐殖土明显高于林下地表冠层土壤, 而且随着林地土层深度的增加, 其养分含量和生化活性出现显著下降的趋势。林冠腐殖土较高的养分含量和生化活性在林冠繁茂的附生植物生长发育和维持林冠附生植物多样性格局方面具有重要的生态功能。

关键词: 林冠腐殖土; 理化性质; 林地腐殖土; 微生物生物量; 山地云雾林; 哀牢山

中图分类号: Q948

文献标识码: A

山顶苔藓矮林(Mossy Dwarf Forest)是我国亚热带高海拔山地植被类型之一, 多分布于山风强烈、气温低、云雾多、湿度大的山脊或山顶地带, 特别是独峙于云雾线以上的那些孤峰和暴露的山脊。由于受山顶特殊的地形、气候及环境条件的影响, 山顶苔藓矮林附生植物极为丰富, 也存在不少特有的动植物种类, 在森林群落的外貌、物种组成、群落结构、功能特征等方面都与海拔更低的森林有着明显的区别^[1-2]。此外, 由于该类森林分布于山体顶部, 是流域集水区的起点, 该类森林群落对保持水土、保持动植物资源、涵养水源等起着重要作用^[3-4], 因此山顶苔藓矮林受到来自地理学家、林学家、植物学家、动物学家、气候水文学家等的关注。目前, 在云南哀牢山、高黎贡山、大雪山、无量山、黄连山等地区呈岛屿

状分布有山顶苔藓矮林^[5]。

分布于哀牢山山体顶部的苔藓矮林长期处于云雾之中, 常年温凉、潮湿的环境条件, 使得苔藓矮林林冠附生植物生长繁茂, 在树干、树枝和树杈处存在大量的附生植物及其枯死残留物, 构成独特的结构景观^[6]。林冠腐殖质(Canopy humus)是林冠枯死残留物的主要组成部分, 它依附于树皮表面, 由分解、半分解的被树木截留的宿主掉落物和附生植物、腐烂的树皮、动物和微生物的代谢物和遗体以及从空气中吸收的水分和微粒组成^[7-8]。

有关研究表明, 在热带山地雨林中, 林冠腐殖质在林冠附生物质中占有一定的比例, 具有较高的生物量, 是一类养分含量较高、生化活性较强和保水力较好的有机土类物质, 是一个重要的碳库和养分库,

收稿日期(Received date): 2010-08-11; 改回日期(Accepted): 2010-12-15。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(30771705, 30870437), 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCX2-YW-Z-1019)。[This research is supported by the National Natural Science Foundation of China (30771705, 30870437) and the Foundation of Knowledge Innovation Program, CAS (KSCX2-YW-Z1019).]

作者简介(Biography): 李泽西(1987-), 男, 四川人, 在读硕博连读研究生, 主要从事恢复生态与植物生态学的研究。[Li Zexi (1987-), male, born in Sichuan, Graduate student, major on restoration ecology and plant ecology.]

* 通讯作者(Corresponding author): 刘文耀, 研究员, 博导, 从事植物生态学研究。[Liu Wenyao, PhD, Professor, major on plant ecology.] E-mail: liuwuy@xtbg.ac.cn

为林冠附生的植物生长发育提供良好的生长基质和养分条件^[7-8]。作为附生植物生长的基质,林冠腐殖质不仅能提供附生植物生长所需要的营养物质,而且在维系森林生态系统附生植物多样性、养分和水分循环等方面具有重要的生态功能^[9-10],也为许多生活在林冠腐殖质内部的动物提供了多样化的生存环境^[10]。从20世纪70年代以来,随着单绳攀爬技术的应用,林冠学研究已成为森林生态学的重要研究领域之一。一些学者对南美哥斯达黎加热带山地森林的附生物和林冠腐殖质的组成、理化特性等进行了研究,为深入研究该地区热带山地雨林生态系统附生植物多样性形成及其维持机制提供了科学依据^[8-11]。

目前国内对林冠附生物质特别是林冠腐殖质理化特性方面的研究开展很少^[10-12]。哀牢山国家级自然保护区不仅保存有我国亚热带地区面积最大、人为干扰少的山地湿性常绿阔叶林,而且在山顶分布有相当数量的苔藓矮林,林冠附生植物非常发达,林冠枯死有机物包括林冠腐殖质的贮量也较为丰富^[2,6]。一些学者对本区山地湿性常绿阔叶林和山顶苔藓矮林的死、活附生物质的组成、生物量、养分含量等方面进行了研究^[6,13]。然而,有关山顶苔藓矮林林冠腐殖质的理化特性、微生物生物量等方面尚未见研究报道。本文以哀牢山山顶苔藓矮林为对象,试图通过对该森林群落林冠腐殖质的组成、理化特性、微生物量C、N、呼吸速率的分析研究,并与林下地表不同深度土壤进行比较,探讨本区山顶苔藓矮林林冠腐殖质的组成、养分含量特征、微生物生物量与呼吸作用强度,以期为深入研究山地湿性森林群落林冠附生生物多样性形成格局及其维持机制,以及森林资源的保护管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域自然概况

哀牢山是位于云南高原西南部、横断山区南段以东一条西北-东南向的山脉,属云岭山脉向南分支的余脉,23°35'~24°44'N,100°54'~101°30'E,平均海拔2 400~2 700 m,相对高差1 500~1 600 m,至今保存着我国保存最完整、面积最大的中山湿性常绿阔叶林。

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,地理位置为24°32'N,102°02'E,海

拔2 400~2 700 m。根据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℃,最冷月平均气温(1月)5.6℃,最热月气温(7月)15.7℃,全年无霜期约180 d,气候终年温凉潮湿,土壤以山地黄棕壤^[1]。

山顶苔藓矮林在海拔2 600 m以上的山体顶部,占该区总土地面积的6.72%。一年中有大部分时间受到雾水的影响,林下土壤湿度非常大,为山地棕壤,其微生物分解不如黄棕壤快,林内空气湿度约为87%,年平均温度为9.4℃。根据调查,该森林群落高5~7 m,主要由硬叶柯(*Lithocarpus pachyphylloides*)、露珠杜鹃(*Rhododendron irroratum*)等树种组成,树干、枝上布满苔藓由三层组成,林下灌木层以箭竹(*Sinarundinaria nitida*)、玉山竹(*Yushania niukayamensis*)占优势,间有一些乔木树种幼树及灌木种类,高2 m左右。地面附生有垫状苔藓层,常见附生植物有异叶楼梯草(*Elatostema monandru*)、鳞轴小膜盖蕨(*Araioestegia perduran*)和长柄蓴(*Mecodium polyanthus*)。

1.2 样品的采集和处理

采样时间为2009-04和09。根据有关的研究报道^[6,13],本区域森林林冠腐殖质主要分布于主干的树杈处、树干及主侧枝上。结合哀牢山山顶苔藓矮林样地的实际情况,在本次研究中,我们在山顶苔藓矮林分布集中的区域,选取100 m×100 m的样方,随机选取样方内胸径较大的24株树进行标记后进行采样,因该类森林树木均较矮,可以直接爬树采集样方内的树杈和枝条上的所有附生物质。按照Nadkani等人^[7]的方法,将采集的林冠附生物质分离出附生植物体和分解、半分解的林冠腐殖土。为了与林下不同深度土壤进行比较,在样方内以矩阵分布方式,采集9个点挖掘土壤剖面,根据山顶苔藓矮林土壤自然分层的特点,采样过程中自上至下分别选取0~10 cm、10~20 cm和20~30 cm三个层次的土壤样品,每层取3个土样,最后将各层9包土样混合为苔藓矮林林地土样。土样采集后首先人工清除较大的动植物残体,用自封袋密封至于冰箱中4℃保存,后过2 mm土筛并分为干样和鲜样分别用于性质测定。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤理化性质的测定

根据前人的有关研究结果^[7,12],林冠腐殖土的

组成及结构基本类似于林下地表土壤腐殖质,故对林冠腐殖质理化性质的分析测定采用土壤学的分析方法。在本研究中,我们对所采集的林冠腐殖土与林下地表土壤的样品进行理化分析,其中土壤有机质的含量采用硫酸、重铬酸钾氧化-外加热法测定,全 N 含量采用凯氏定氮法,全 P、K、Ca 和 Mg 的含量:经 $\text{HClO}_4 - \text{HF}$ 消解,用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)测定,全 Na 和交换性 K、Na 的含量:通过 $1 \text{ mol/L CH}_3\text{COONH}_4$ 交换浸提,采用原子吸收光谱(AAS)测定,交换性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量采用 ICP-AES 测定,交换性酸 H^+ 、 Al^{3+} 的含量用 1 mol/L KCl 交换—中和滴定法测定,阳离子交换量(CEC)采用蒸馏法测定,pH 值采用电位法测定(水土比 2.5:1)。

1.3.2 土壤微生物量 C、N 和呼吸强度的测定

依据国内外有关研究,土壤微生物量 C 的测定采用氯仿熏蒸培养法,换算系数为 $0.45^{[12,14]}$;微生物量 N 采用改良的氯仿熏蒸浸提法,水土比为 6:1,换算系数为 $0.54^{[15]}$;土壤呼吸强度测定采用碱液吸收法^[12,16]。

1.3.3 土壤有效态养分元素含量的测定

在本研究中,土壤有效 P 采用钼锑抗比色法测定,速效 K 采用 ICP-AES 测定,水解氮用碱解扩散法测定,硝态氮和铵态氮采用靛酚蓝比色法和酚二磺酸法测定。

1.4 数据处理

采用 SPSS 13.0 软件对分析实验数据进行统计分析,采用单因子方差分析(One-Way ANOVA)检验不同土壤各变量之间的显著性差异。

2 结果与分析

2.1 山顶苔藓矮林林冠腐殖土及林地不同深度土壤的理化特性

从分析结果(表 1)可以看出,本区山顶苔藓矮林林冠与林地腐殖土的基本理化特性存在较大的差异,林冠与林地腐殖土的 pH 值均较低,林冠腐殖土 pH 值略高于林地 0~10 cm 表层腐殖土。林冠腐殖土的有机 C 含量极显著地高于林地各个层次土壤,且林地土壤有机 C 的含量随土层深度增加而显著下降,如将其换算为有机质,结果则显示林冠腐殖土几乎都是有机质,这是林冠腐殖土与其他土壤区别最大之处。林冠腐殖土全 N、全 P、全 Ca 及全 Na 的含量显著高于林下地表腐殖土,且这种差异随土层深度的增加而明显加大。而林冠腐殖土中全 Mg 和全 K 的含量则低于林地腐殖土。林冠腐殖土的碳氮比略低于林地 0~5 cm 深度表土层,但高于林地其它深度的土壤。

土壤阳离子交换量反映土壤其保持肥力的能力。根据分析结果(表 2),表明哀牢山顶苔藓矮林林冠腐殖土的阳离子交换量、盐基饱和度和盐总量均显著高于林地三个层次土壤,分别是林地土壤的 1.1~2.9 倍,1.7~12.8 倍和 2.4~38.62,这些差异呈现出随着土壤深度的增加而显著增大的趋势。林冠腐殖土的交换性阳离子 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 均显著高于林地土壤,但其交换性 H^+ 略低于林地 0~5 cm 深度的表土,但明显高于林地其他土层,而 Al^{3+} 则均低于林地各层土壤。

表 1 哀牢山顶苔藓矮林林冠与林下地表腐殖土的理化特征

Table 1 Basic physical and chemical properties of canopy soil and soil under forest floor in the MCF in Ailao Mountains

腐殖土类型 Soil types	pH (H_2O)	Org. C / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	N / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	P / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	K / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	Ca / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	Mg / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	Na / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	C/N
林冠腐殖质 Canopy soil	4.03a ± 0.03	437.4a ± 1.40	22.21a ± 0.04	1.36a ± 0.00	7.08d ± 0.09	5.48a ± 0.11	1.92c ± 0.01	1.04a ± 0.03	19.09b ± 0.02
0~10 cm	3.80b ± 0.17	267.6b ± 2.37	12.41b ± 0.07	0.86b ± 0.02	8.15e ± 0.08	2.41b ± 0.09	1.68d ± 0.05	0.56b ± 0.02	21.57a ± 0.22
林下地表土壤 Soil under forest floor	3.76b ± 0.12	87.64c ± 1.57	5.10c ± 0.05	0.52c ± 0.00	10.27b ± 0.07	0.49c ± 0.02	2.03b ± 0.02	0.71ab ± 0.09	17.17c ± 0.23
10~20 cm	4.12a ± 0.12	48.29d ± 0.30	2.72d ± 0.02	0.48d ± 0.00	13.19a ± 0.41	0.28d ± 0.01	2.33a ± 0.03	0.49b ± 0.02	17.75c ± 0.53
20~40 cm									

注:表中同一列数据后字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。Different letters following mean within the same column meant significant difference among patterns at 0.05 level. The same below.

表2 哀牢山顶苔藓矮林林冠腐殖土的阳离子交换量和交换性阳离子
Table 2 Cation exchange capacity and exchange cations of the canopy soil and soil under forest floor in MCF in Ailao Mountains

腐殖土类型 Soil types	阳离子交换量 Cation exchange capacity	盐基饱和度 Base saturation /%	交换性盐基 Exchangeable Bases /cmol. kg ⁻¹				盐基总量 Total exchan-geable bases	H ⁺	Al ³⁺
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
林冠腐殖质 Canopy soil	64.63a ±3.61	75.52a ±1.00	2.50a ±0.06	0.24 ±0.07	20.80a ±0.47	3.5a ±0.05	27.04a ±0.40	5.94a ±0.17	2.82d ±0.54
0~10 cm	57.40b ±0.97	44.13b ±0.60	0.99b ±0.01	0.14 ±0.03	7.24b ±0.35	2.89b ±0.03	11.26b ±0.39	7.25a ±0.26	6.99c ±0.30
林下地表土壤 Soil under forest floor	27.78c ±2.22	11.73c ±0.19	0.30c ±0.01	0.07 ±0.01	1.03c ±0.03	0.53c ±0.01	1.92c ±0.06	3.45b ±0.15	11.01a ±0.06
10~20 cm	22.13c ±0.14	5.90d ±0.34	0.15d ±0.01	0.06 ±0.01	0.30d ±0.02	0.19d ±0.00	0.70d ±0.04	1.37c ±0.03	9.79b ±0.07
20~40 cm									

表3 哀牢山顶苔藓矮林林冠与林下地表腐殖土的有效养分
Table 3 Available nutrient of canopy soil and soil under forest floor in the MCF in Ailao Mountains

腐殖土类型 Soil types	有效 P Available P /mg. kg ⁻¹	速效 K Available K /mg. kg ⁻¹	水解 N Available N /mg. kg ⁻¹	铵态氮 NH ₄ ⁺ - N /mg. kg ⁻¹	硝态氮 NH ₃ - N (mg. kg ⁻¹)
林冠腐殖土 Canopy soil	82.01a ± 0.54	778.33a ± 8.97	1179.00a ± 11.01	83.04a ± 4.70	11.20a ± 1.07
林下地表土壤 0~10 cm	43.51b ± 0.83	305.33b ± 4.67	732.00b ± 2.00	10.43b ± 2.14	2.37b ± 0.15
Soil under forest floor 10~20 cm	7.66c ± 0.20	91.67c ± 2.73	319.00c ± 11.15	6.85bc ± 0.72	1.69c ± 0.07
20~40 cm	3.75d ± 0.04	51.00d ± 1.15	178.00d ± 7.51	6.29c ± 0.84	0.73c ± 0.03

土壤的有效养分是指能够直接提供给植物吸收和利用的那部分养分,反映土壤供应植物生长发育的能力^[17]。从表4中可看出,林冠腐殖土的速效K、有效P的含量均显著高于林地各层土壤,分别是林地土壤的1.9~21.9倍和2.6~15.3倍;在不同形态N的含量上,林冠腐殖土的水解氮、铵态氮和硝态氮都显著高于林地各层腐殖土,分别是林地土壤的1.6~6.6倍、8.0~13.2倍和4.7~15.3倍。由此说明林冠腐殖土能够为附生植物提供更多不需经转化就可以直接吸收利用的养分。

2.2 山顶苔藓矮林林冠腐殖土及林地不同深度土壤的微生物量C、N及其季节变化

测定结果(图1)表明,在干季和雨季,山顶苔藓矮林林冠腐殖土的微生物量C、N均显著高于林地各个层土壤,在干季其微生物量C、N分别达到4 820.79 μg/g和748.69 μg/g,分别是林地土壤微生物量C、N的1.8~4.5倍和1.8~12.6倍,随着林地土壤深度的增加,各个层次土壤微生物生

物量C、N的差异增大,其中0~10 cm土壤的微生物量C、N均明显地比10~20 cm和20~40 cm的要高。雨季林冠腐殖土的微生物量C、N分别达到1 712.79 μg/g和767.46 μg/g,分别是林地土壤微生物量C、N的2.4~3.2倍和1.7~5.5倍。在林地各层次土壤之间微生物量C、N的差异不显著。

2.3 山顶苔藓矮林林冠腐殖土及林地不同深度土壤的呼吸速率

根据对雨季和干季林冠及林地不同深度土壤呼吸测定结果(图3),表明在20 d的培养过程中林冠和林地土壤呼吸速率均呈现出递增的趋势,总体上林冠腐殖土的呼吸速率要高于林地土壤,其中雨季20 d培养后林冠腐殖土的CO₂释放量达到7 717.84 μg/g,分布是林地0~10 cm、10~20 cm和20~40 cm三个深度土壤CO₂释放量的1.2、8.9和17.1倍;干季林冠腐殖土的呼吸速率达到21 783.36 μg/g,分别是林地0~10cm、10~20 cm和20~40 cm三

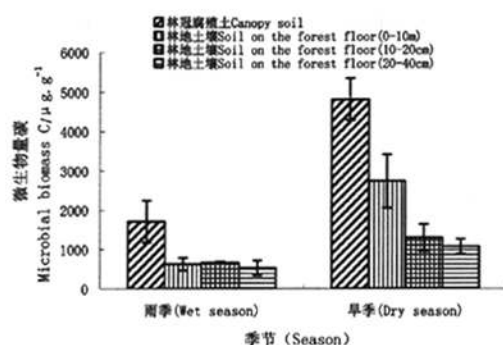


图1 雨季和旱季哀牢山山顶苔藓矮林林冠和林地腐殖土的微生物生物量C

Fig. 1 Microbial biomass C of canopy soil and soil under forest floor of the MCF in Ailao Mts in wet and dry seasons

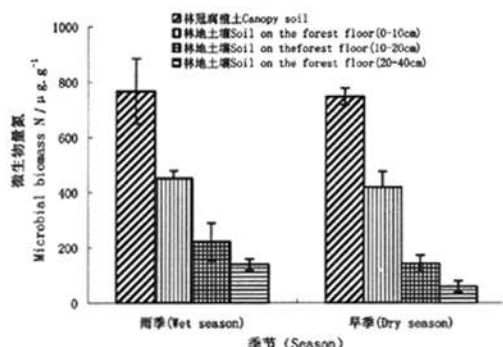


图2 哀牢山山顶苔藓矮林林冠和地表腐殖土雨、旱季微生物生物量N

Fig. 2 Microbial biomass N of canopy soil and soil under forest floor of the MCF in Ailao Mts in wet and dry seasons

个深度土壤 CO_2 释放量的 2.4、38.3 和 82.9 倍。显然旱季林冠腐殖土的呼吸速率更高,而林地土壤呼吸速率均较低,这又是林冠腐殖土与林地土壤区别之处。从 20 d 的培养测定过程看,雨季和旱季林地 0~10 cm 土壤的呼吸速率明显大于 10 cm 深度以下土壤的呼吸速率,尤其是在旱季 10 cm 以下林地土壤的呼吸速率更低。

3 讨论

已有的研究表明,由于林冠腐殖土的来源、组成及形成过程与林地腐殖土有着明显的差别。山地湿性森林林冠附生植物非常发达,当附生植物死亡后,将在树干、树枝、树杈等位置的表面分解形成不同分

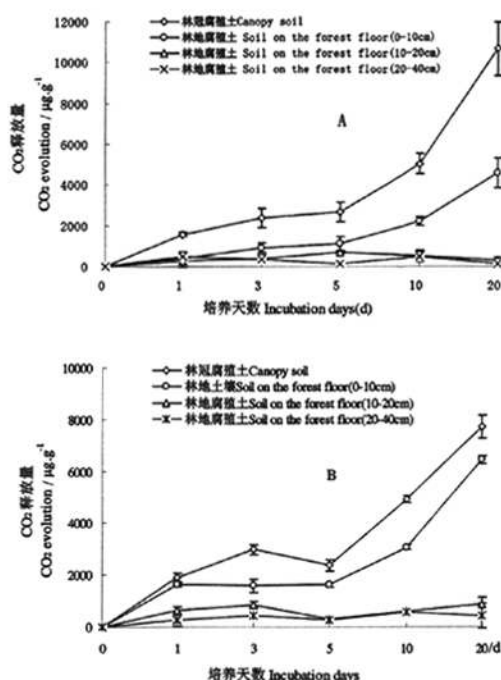


图3 哀牢山山顶苔藓矮林林冠和林地腐殖土呼吸速率及季节变化(A雨季;B旱季)

Fig. 3 Respiration rates of canopy soil and soil under forest floor of the MCF in Ailao Mts. in wet (A) and dry (B) seasons

解状态的有机物质层,加上通过干、湿沉降的方式被林冠层截留相当数量的大气微粒,在生物与非生物因素的共同作用下形成了较为丰富的林冠腐殖土^[7-8]。林冠腐殖质以树木为载体,林冠腐殖质有机质来源主要是附生植物在干湿沉降、雨水淋溶的作用下,经过各种反应形成单薄的片层分布。哀牢山山顶苔藓矮林长期处于云雾之中,通过干、湿沉降过程,有较为丰富的养分进入森林,林冠附生植物及枯死有机物吸收、积累了较多的养分,此外森林生态系统重要的养分库^[8,10,12]。

哀牢山山顶苔藓矮林的附生植物群落以苔藓为优势,苔藓植物由于有较大的表面积,故它们更容易吸收空气中的水汽、微粒等,加上宿主树皮、宿主凋落物以及附生生物死亡后形成的分解、半分解的有机物,使得所形成的林冠腐殖土具有较高的营养元素含量,也含有一些林下地表土壤无法获得的营养成分。根据对哥斯达黎加山地森林林冠腐殖土的研究,Ndakarni 等人发现与林下地表土壤腐殖质相比较,其林冠腐殖土的 C、K 和 Mg 的含量较高,但是两

者的Ca、P、N含量,C/N比、可交换阳离子和阳离子交换量则没有显著差异^[8]。王高升等人^[12]通过对哀牢山中山湿性常绿阔叶林林冠腐殖质的研究,发现该类森林林冠腐殖质比林下地表土壤腐殖质具有更高的有机C、全N、全Ca,林下腐殖质则含有更丰富的K和Mg元素,在阳离子交换量和盐基饱和度上也显著高于林下腐殖质,交换性Ca、K、Mg和盐基总量均显著高于林下腐殖质。本研究结果与同地区的湿性常绿阔叶林相似,但所不同的是山顶苔藓矮林林冠腐殖土的Mg含量明显高于林下地表腐殖质,这可能与山顶苔藓矮林附生苔藓植物发达,附生维管束植物较少有密切的关系。

根据对林冠及林地不同深度土壤的有效养分的分析结果,表明林冠腐殖土不仅含有较高的营养元素含量,而且养分的有效性也显著的高于地表腐殖土,虽然林冠腐殖土中总K的含量不如林地腐殖土,但其速效K含量是林下地表腐殖土的2.55倍,有效P则是林地腐殖层的1.89倍;在不同形态N的含量上,林冠腐殖土的水解氮、铵态氮和硝态氮都显著高于林地各层腐殖土,分别是林地土壤的1.6~6.6倍、8.0~13.2倍和4.7~15.3倍,表明林冠腐殖土具有较多可供附生植物直接吸收利用的养分。杨万勤等通过对缙云山山地森林有效养分和物种多样性关系的研究,表明土壤有效养分的含量与群落生物多样性存在不同程度的正相关性^[17]。因此,山顶苔藓矮林林冠腐殖土丰富的有效养分含量在维持林冠丰富的附生植物多样性方面具有重要的作用。

土壤微生物是森林生态系统的重要组成部分,尽管其生物量相对较少,但其在土壤形成与发育(包括演示和矿物质的风化、土壤腐殖化过程、土壤团粒结构的形成)、生物元素循环林木营养等方面具有不可替代的作用^[18]。通过对哥斯达黎加热带山地森林林冠腐殖质和林地土壤的比较研究,Inggram和Nadkarni^[7]发现,林冠腐殖质具有和林地土壤FF-H(0~10 cm)层一样高的微生物活性,并且测出林冠腐殖质和林地土壤FF-H(0~10 cm)和FF-AL(10~20 cm)的CO₂释放量分别为10 580 μgCO₂-C/g、8 720 μgCO₂-C/g和4 860 μgCO₂-C/g,其中林地0~10 cm和10~20 cm两层土壤之间CO₂释放量的差异达到显著水平($p < 0.05$),而且雨季林冠及林地土壤的CO₂释放量较高。本研究结果也表明,山顶苔藓矮林林冠腐殖土与林地0

~10 cm表层腐殖土之间CO₂释放量的差异较小,但与林地10~20 cm及20~40 cm土壤的差异也达到显著水平($p < 0.05$),也出现雨季林冠腐殖土和林地土壤的CO₂释放量大于旱季。

林冠腐殖土作为附生植物生长发育的重要基质和场所,对山地森林生态系统物质循环和附生植物多样性形成及其维持具有重要的生态功能。山顶苔藓矮林是我国西南地区热带、亚热带高海拔山地森林植被的重要而特殊的类型,具有丰富的附生植物多样性,林冠腐殖土也积累有丰富的营养物质,有效性养分含量高,是山地森林生态系统重要的养分库。因此,在山地森林资源的保护过程中,应加强林冠附生生物和林冠腐殖质的保护。

4 结论

1. 哀牢山徐家坝地区山顶苔藓矮林林冠腐殖土有机C、全N、全Ca、全P和全Na的含量,以及水解N、NH₄⁺-N与NO₃⁻-N,以及速效K、速效P的含量明显地高于林下地表各层土壤。

2. 在土壤微生物生物量C、N和呼吸速率方面,雨季大于旱季,林冠腐殖土明显高于林地各层土壤,且随着林地土层深度的增加,它们之间的差异明显加大的趋势。

3. 林冠腐殖土较高的养分含量和生化活性为维持林冠附生植物多样性格局方面具有重要的生态功能。

致谢:本研究得到哀牢山国家级自然保护区和哀牢山生态站的支持和帮助,在此一并致谢!

参考文献(References)

- [1] Wu Zhenyi. Vegetation of China [M]. Beijing: Science Press, 1995 [吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1995]
- [2] Xie Shouchang. The dominant species of the dwarfing mossy forest on the summit of Mt. Ailao in Jingdong, Yunnan: Lithocarpus pachyphyloides [J]. Acta Botanica Sinica, 1987, 29(3): 331-335 [谢寿昌. 云南景东哀牢山山顶苔藓矮林优势种——倒卵叶石栎[J]. 植物学报, 1987, 29(3): 331-335]
- [3] Bruijnzeel L. A. Climatic conditions and tropical montane forest productivity: the fog has not lifted yet the structure and functioning of montane tropical forests: control by climate, soil and disturbance [J]. Ecology, 1998, 79: 3-9
- [4] Bruijnzeel L. A. Hydrology of tropical montane cloud forest: A reassessment [J]. Land use and Water Resource Research, 2001, 1: 1-18
- [5] Wu Zhengyi. The vegetation of Yunnan [M]. Beijing: Science Press, 1987 [吴征镒. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社, 1987]

- [6] Chen L., Liu W. Y., Wang G. S. Estimation of epiphytic biomass and nutrient pools in the subtropical montane cloud forest in the Ailao Mountains, south-western China [J]. *Ecological Research*, 2010, 25:315–325.
- [7] Ingram, S. W., and N. M. Nadkarni. Composition and distribution of epiphytic organic matter in a Neotropical Cloud Forest, Costa Rica [J]. *Biotropica*, 1993, 25 (4):370–383
- [8] Nadkarni N. M., Schaefer D, Matelson T J, et al. Comparison of arboreal and terrestrial soil characteristics in a lower montane forest, Monteverde, Costa Rica [J]. *Pedobiologia*, 2002, 46: 24–33
- [9] Nadkarni N M, Merwin M C, Nieder J. Forest canopies, plant diversity [J]. *Encyclopedia of Biodiversity*, 2001, 3:27–40
- [10] Liu Wenyao, Ma Wenzhang, Yang Lipan. Advances in ecological studies on epiphytes in forest canopies [J]. *Journal of plant Ecology*, 2006, 30(3):522–533 [刘文耀, 马文章, 杨礼攀. 林冠附生植物生态学研究进展 [J]. *植物生态学报*, 2006, 30(3):522–533]
- [11] Bohlman, S. A., T. J. Matelson, and N. M. Nadkarni. Moisture and temperature patterns of canopy humus and forest floor soil of a montane cloud Forest, Costa Rica [J]. *Biotropica*, 1995, 27 (1): 13–19
- [12] Wang Gaosheng, Liu Wenyao, Fu Yun, et al. Comparison of physical and chemical properties and microbial biomass and enzyme activities of humus from canopy and forest floor in a montane moist evergreen broad-leaved forest in Aila Mts., Yunnan [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3):1328–1336 [王高升, 刘文耀, 付昀, 等. 哀牢山湿性常绿阔叶林林冠和林下腐殖质理化特性、微生物量及酶活性比较 [J]. *生态学报*, 2008, 28(3):1328–1336]
- [13] Liu Yongjie, Liu Wenyao, Chen Lin, et al. Microbial community and its activities in canopy – and understory humus of two montane forest types in Ailao Mountains, Northwest China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(9):2257–2266 [刘永杰, 刘文耀, 陈林, 张汉波, 王高升. 哀牢山两类山地森林群落林冠与林下腐殖质微生物群落比较 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(9): 57–2266]
- [14] Jenkinson D S, Powlson D S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil — V. A method for measuring soil biomass [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1976, 8:209–213
- [15] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1985, 17:837–842
- [16] Anderson J P E, . Soil respiration. In *Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd Edn* (A. L. Page, Ed.) [M]. Madison: American Society of Agronomy, 1982:831–871
- [17] Yang Wanqing. Forest soil ecology. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2006 [杨万勤. 森林土壤生态学. 成都: 四川科技出版社, 2006]
- [18] Li Yanmao, Hu Jingchun, Wang Silong. Function and application of soil microorganisms in forest ecosystem [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10):1943–1946 [李延茂, 胡江春, 汪思龙. 森林生态系统中土壤微生物的作用与应用 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15 (10): 1943–1946]

Physical and Chemical Properties and Microbial Biomass of Canopy Soil in the Montane Cloud Forest in Ailao Mountains

LI Zexi^{1,2}, LIU Wenyao¹, CHEN Lin¹, SONG Liang^{1,2}

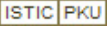
(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2. Graduated University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: As an important component of the mossy dwarf forest (MDF), canopy soil provides essential substrates and nutrients for the growth of abundant epiphytes. In this study, nutrient status, microbial biomass and soil respiration of the canopy soil and forest floor soils at different depths (0–10 cm, 10–20 cm and 20–40 cm) were analyzed and comprised in MDF in Ailao Mountain, Yunnan. The concentrations of organic C, total N, total Ca, total P, total Na and cation exchange capacity were significantly higher in the canopy soil than forest floor soil. The higher concentration of available K, available P, available N, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ were also found in the canopy soil while it decreased gradually with increase of soil depth in the forest floor. The microbial C, N, and respiration rate were greater in the canopy soil than soil on the forest floor. The forest canopy soil has an important ecological function in providing nutrients for growth of epiphytic plants and maintaining pattern of epiphytic species diversity.

Key Words: canopy soil; physical and properties; soil under forest floor; microbial biomass; montane cloud forest; Ailao Mts.

特征

作者: [李泽西](#), [刘文耀](#), [陈林](#), [宋亮](#), [LI Zexi](#), [LIU Wenyao](#), [CHEN Lin](#), [SONG Liang](#)
作者单位: [李泽西, 宋亮, LI Zexi, SONG Liang \(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南昆明650223; 中国科学院研究生院, 北京100049\)](#), [刘文耀, 陈林, LIU Wenyao, CHEN Lin \(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南昆明, 650223\)](#)
刊名: [山地学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)
年, 卷(期): 2011, 29(1)

参考文献(18条)

1. [吴征镒](#) [中国植被](#) 1995
2. [谢寿昌](#) [云南景东哀牢山山顶苔藓矮林优势种——倒卵叶石栎](#) 1987 (03)
3. [Bruijnzeel L. A](#) [Climatic conditions and tropical montane forest productivity: the fog has not lifted yet the structure and functioning of montane tropical forests: control by climate, soil and disturbance](#) [外文期刊] 1998
4. [Bruijnzeel L. A](#) [Hydrology of tropical montane cloud forest: A reassessment](#) 2001
5. [吴征镒](#) [云南植被](#) 1987
6. [Chen L.](#) [Liu W. Y.](#) [Wang G. S](#) [Estimation of epiphytic biomass and nutrient pools in the subtropical montane cloud forest in the Ailao Mountains, south-western China](#) 2010
7. [Ingram, S. W.](#) [N. M. Nadkarni](#) [Composition and distribution of epiphytic organic matter in a Neotropical Cloud Forest, Costa Rica](#) 1993 (04)
8. [Nadkarni N. M.](#) [Schaefer D.](#) [Matelson T. J](#) [Comparison of arboreal and terrestrial soil characteristics in a lower montane forest, Monteverde, Costa Rica](#) 2002
9. [Nadkarni N. M.](#) [Merwin M. C.](#) [Nieder J](#) [Forest canopies, plant diversity](#) [外文期刊] 2001
10. [刘文耀](#), [马文章](#), [杨礼攀](#) [林冠附生植物生态学研究进展](#) [期刊论文] - [植物生态学报](#) 2006 (03)
11. [Bohlman, S. A. T. J.](#) [Matelson, N. M.](#) [Nadkarni](#) [Moisture and temperature patterns of canopy humus and forest floor soil of a montane cloud Forest, Costa Rica](#) [外文期刊] 1995 (01)
12. [王高升](#), [刘文耀](#), [付昀](#) [哀牢山湿性常绿阔叶林林冠和林下腐殖质理化特性、微生物量及酶活性比较](#) [期刊论文] - [生态学报](#) 2008 (03)
13. [刘永杰](#), [刘文耀](#), [陈林](#), [张汉波](#), [王高升](#) [哀牢山两类山地森林群落林冠与林下腐殖质微生物群落比较](#) [期刊论文] - [应用生态学报](#) 2010 (09)
14. [Jenkinson D. S.](#) [Powlson D. S](#) [The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass](#) 1976
15. [Brookes P. C.](#) [Landman A.](#) [Pruden C](#) [Chloroform fumigation and release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil](#) 1985
16. [Anderson J. P. E](#) [Soil respiration](#) 1982
17. [杨万勤](#) [森林土壤生态学](#) 2006
18. [李廷茂](#), [胡江春](#), [汪思龙](#) [森林生态系统中土壤微生物的作用与应用](#) [期刊论文] - [应用生态学报](#) 2004 (10)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201101005.aspx