

青藏高原东南部边缘地区的森林土壤*

張 万 儒

(中国林业科学研究院林业研究所)

研究地区位于北緯 $25^{\circ}30'$ 至 $28^{\circ}30'$ 和东經 $99^{\circ}30'$ 至 $102^{\circ}00'$ 之間。它包括了瀾滄江与金沙江之間的云岭山东坡和西坡及金沙江与雅砻江之間的沙魯里山南部地区。行政位置包括云南省西北部的丽江、永胜、华坪、永仁、維西、中甸、兰坪等县和四川省的木里藏族自治县。

青藏高原东南部边缘地区的自然条件及森林概况

一、地形与气候

青藏高原东南部边缘地区(包括青藏高原东南部及云貴高原西北部)的森林土壤是属于我国亚热带高原及高山区的土壤。这些地区是我国典型的高山地带;从绝对高度上来看,青藏高原东南部拔海一般都在 3,000—4,000 米以上,而云貴高原西北部拔海相对稍低些;相对拔海高度一般都在 200—500 米之間,有时也有达到 1,000—2,000 米的;坡度絕大部分不小于 $25-30^{\circ}$ (很少遇到中等坡度及緩坡)。总的讲来,該地区地形的特征是“山高坡陡,急流深谷”。** 这里主要的山脉有横断山脉,主要的河流有雅砻江、金沙江、瀾滄江、怒江等,此外,还有很多高山湖泊,如泸沽湖、滇海等都位于拔海 2,000—3,000 米左右的高山上。

这里可以看到,在土壤形成因子中具有特别意义的是地形,它直接影响到当地的气候条件、植被性质和土壤的水分状况。

地形对重新分配土壤表面的水热因子起着决定性的作用;在該地区,根据現有气象材料計算,拔海高度每升高 100 米,气温平均降低 0.7°C 。随着拔海高度的上升,土壤和气候因子变化如图 1。

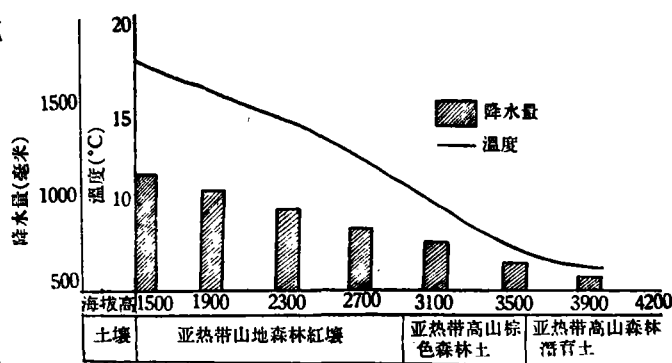


图1 随着拔海高度的上升,土壤和气候的变化
(根据該地区多年气象材料繪制)

* 本文是在苏联科学院森林研究所森林土壤研究室 C. B. 佐恩教授直接指导下完成的。1955—1956 年野外工作参加者有: 張万儒、陈小堂、邦宗衡、刘泰坡、楊繼鎬、李德融、汪家鎔、熊惠、杜奎銘、熊业奇、龔得能等同志。部分室内分析由林业部土壤分析室及苏联科学院森林研究所森林土壤研究室完成。特此志謝。

** 录自林业部綜合調查队材料。

研究地区气候的垂直变化特征如下:

分布在 1,500—3,000 米拔海高度的亚热带山地森林紅壤上的云南松林区的气候特征是蒸发量大于降水量。一年中的生长时期很长。年平均降水量在 900—1,100 毫米之間。年平均温度为 12—16℃, 1 月的平均温度为 4—9℃, 7 月的平均温度为 18—21℃。降水最多的时期在夏天, 最少在冬天, 下雪較少。該带的气候受着太平洋及印度洋季风气候的影响。

分布在 3,000—3,600 米拔海高度的亚热带高山棕色森林土上的云杉林区的气候特征是蒸发量与降水量几乎相等。年平均降水量大約为 700 毫米; 年平均温度为 7—9℃, 1 月的平均温度为 -3.3 到 1.7℃, 7 月的平均温度为 14—15.6℃; 复雪的平均厚度为 15.6 厘米。

分布在 3,600—4,000 米拔海高度的亚热带高山森林泥炭潛育土上的冷杉林区的气候特征是降水量大于蒸发量。一年中的生长时期很短。冬季地表复雪很厚, 融化的雪水大量渗入土壤。年平均降水量大約为 500 毫米左右, 年平均温度低于 7℃, 最厚复雪可达 2 米。

二、成 土 母 质

青藏高原东南部边缘地区的母岩主要是沉积岩, 如云南松林地区分布最广的有石灰岩、砂岩、紫色砂岩、砾岩、角砾岩及頁岩, 有时也发现花崗岩、板岩等。前述几种母岩中以石灰岩和砂岩分布最广。云杉冷杉林地区, 母岩有紫色砂岩、砂岩、頁岩、石灰岩、板岩、千枚岩、片麻岩、斑状花崗岩、安山岩、玄武岩等等。

青藏高原东南部边缘地区的成土母质, 主要为大块沉积岩和岩浆岩經风化水流分級而后形成的古代或现代的原积物、坡积物、冲积物和洪积物。在坡頂及坡的上部有原积物分布, 在緩坡中下部形成坡积物, 部分地区因山洪泛滥时期急流把細土及大量岩石碎屑带走, 因此有洪积物形成。在河床附近有小面积的冲积物沉积。

成土母质的风化作用也是以拔海高度为轉移。在拔海較低的云南松林区, 气候暖和、湿润, 这些亚热带气候特点决定了山地岩石以热力风化为主(較強烈地进行着化学风化和生物风化), 形成了很厚的土壤层。而在冷杉林区, 气候寒冷、潮湿, 这些气候特点决定了在該地区以物理风化和生物风化占据优势, 因此形成的土层較薄, 土壤下部常有很多石块及岩屑堆。

成土母质的矿物組成不管在拔海較低的云南松林区或拔海較高的冷杉林区都含有較多量的二三氧化物矿物——三水鋁石和針鉄矿。

三、森 林 概 况

森林植物在青藏高原东南部边缘亚热带高原及高山区的分布呈非常明显的垂直带。

1,500—3,000 米拔海高度以云南松林为主。

3,000—3,600 米拔海高度以云杉林为主。

3,600—4,000 米拔海高度以冷杉林为主。

4,000 米以上的拔海高度分布有灌木丛及灌木杜鹃, 再往上主要为岩屑堆及永雪带。

由上述分布情况可以看出, 在青藏高原边缘亚热带高原及高山区不同海拔高度上生长着其特有的植物种类 (图 2)。

1. 云南松林 (*Pinus yunnanensis* Franch.): 分布在海拔 1,500—3,000 米之间。但在海拔 3,000—3,250 米之间, 除了稀疏的云南松外, 尚可遇到木里松 (又称盘松 *Pinus mulien-*

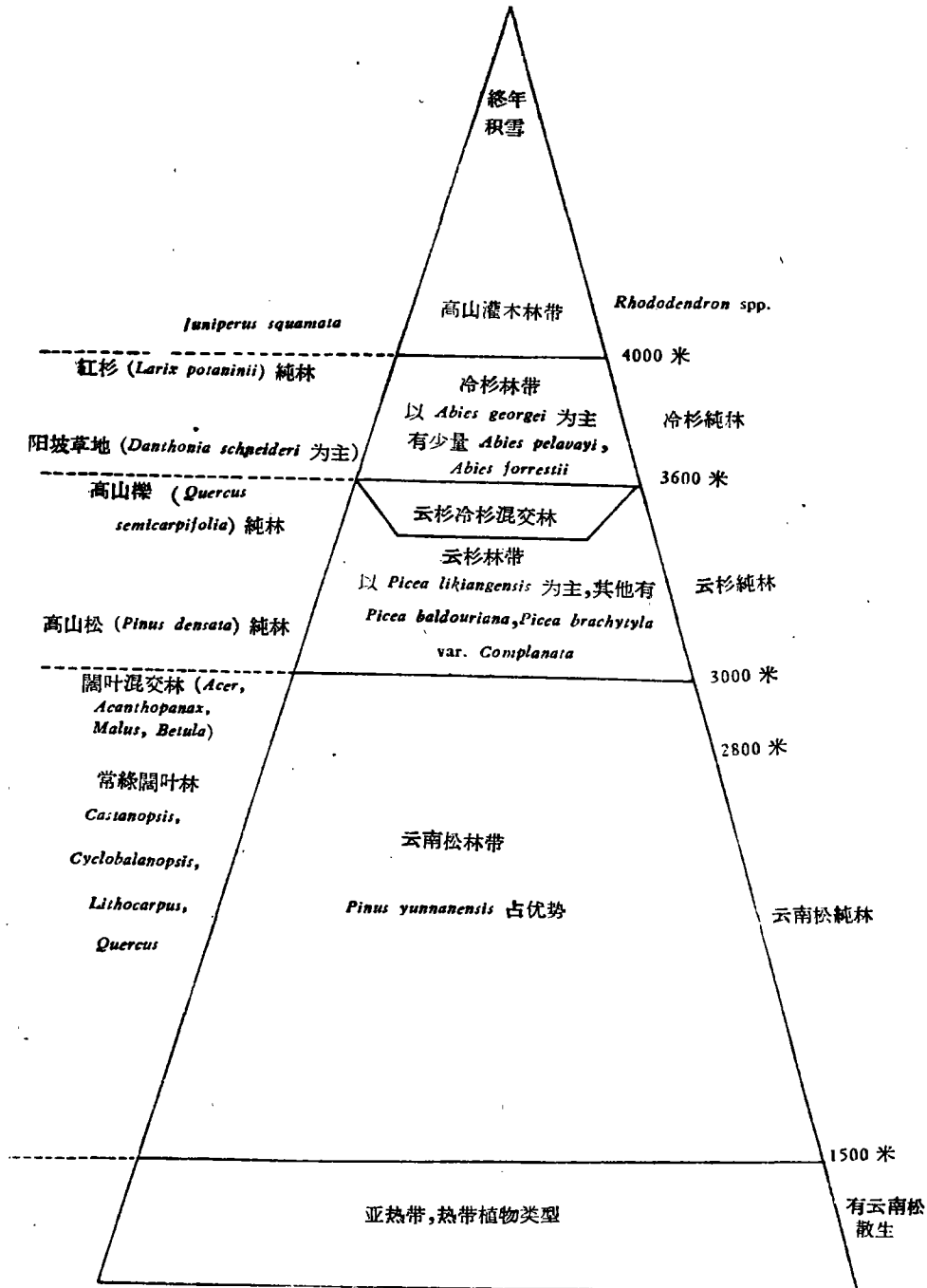


图 2 青藏高原东南部边缘地区亚热带高原及高山区植物垂直分布示意图

sis); 在海拔 3,200 米左右可以遇到成大块状分布的高山松 (*Pinus densata* Mast.)。

这个地区除云南松外,尚有下列闊叶树种: *Castanopsis Delavayi* Fr., *Cyclobalanopsis glaucoides* Schothky, *Lithocarpus dealbata* Rehd., *Quercus* spp., 以及其他很多伴生的灌木。

云南松林区内的草本植物主要为多种禾本科植物及其他寬叶草本植物。

2. 云杉林 (*Picea likiangensis* (Franch) Prizel): 分布在海拔 3,000—3,600 米之間。在海拔 3,400—3,600 米之間常分布有云杉冷杉混交林。这里的云杉有很多种,主要为 *Picea likiangensis* (Franch) Prizel, 此外,尚有 *Picea balfouriana* Rehd. et Wils, *Picea brachythla* var. *Complanata* Cheng。

下木有 *Sinarundinaria* spp., *Rhododendron* spp., *Sorbus* spp., *Rubus* spp. 等。

主要的草本植物为禾本科和莎草科植物,土壤表面有时有苔蘚植被。

在海拔 3,300 米左右高度沿小溪呈狭带状分布着 *Hippophae rhamnoides*; 有时在海拔 3,400 米处发现有 *Pinus armandii*, *Tsuga yunnanensis*, *Tsuga chinensis* 等。而在云杉林区的南坡和西南坡,常分布有 *Quercus semicarpifolia*, *Pinus densata* 等。

3. 冷杉林 (*Abies georgei* Qrr.): 分布在海拔 3,600—4,000 米之間,主要为 *Abies georgei* Qrr.。在海拔稍低的冷杉林下部混杂有 *Abies delavayi* Fr., *Abies forrestii* Rehd.。

下木有 *Ribes* spp., *Sinarundinaria* spp., *Sorbus* spp., *Rhododendron* spp. 等。

草本和苔蘚植被有 *Ptilium cristo-castrensis*, *actinothnidium hookeri*, *Pleurozium schreberi*, *Dicranum perfolcatum*, *Anemone*, *Rubus* 等。

有些地区还存在阳坡无林地: 灌木丛 (*Juniperus squamata*) 及草地 (*Danthonia schneideripilger* 等)。

青藏高原东南部边缘地区的森林土壤

一、主要土壤类型的形成

青藏高原东南部边缘地区的森林土壤在区划上属于亚热带高原及高山区的土壤,包括青藏高原东南部及云贵高原西北部,即横断山脉分布地区(北纬 30° 以南地区)。其形成与外洋(太平洋,印度洋)暖气流的直接影响有密切关系,表现在土壤植物气候分布的垂直带上是非常明显的(图 3)。

(一) 亚热带山地森林红壤的形成 亚热带山地森林红壤位于垂直分布带的下部(海拔 1,500—3,000 米之間),以云南松(*Pinus yunnanensis*)天然林为主,从气候条件上看,有着完全能保证植物生长的足够良好的水热条件(年降水量 1,000 毫米左右,年平均温度 12—16°C 之間),母岩一般以沉积岩为主,其主要成土作用特征:

(1) 富铝化作用——铝硅酸盐的高度分解和在土壤中形成聚积游离的氧化铝和氧化铁;(2) 灰化作用——硅酸的聚积与二三氧化物的淋溶。即云南松林下土壤在发生方面的最大特征为土壤的富铝化过程和不很强烈的灰化过程;这两者形成了云南松林下亚热带气候条件下“特殊的山地森林红壤形成过程”。

根据上述土壤形成过程的特点,云南松林下“亚热带山地森林红壤”主要可分为:(1)

山地森林典型红壤; (2) 山地森林灰化红壤。随着海拔高度的升高, 逐渐过渡为云杉林下的“亚热带高山森林土”。

(二) 亚热带高山棕色森林土的形成 亚热带高山棕色森林土位于垂直分布带的中部(海拔高度 3,000—3,600 米之间), 以茂密的云杉(*Picea likiangensis* 等)天然林为主, 气候温暖而湿润, 年平均降水量约 700 毫米, 年平均温度约为 7—9℃, 母岩一般以沉积岩为主, 其主要的成土作用特征: (1) 富铝化作用; (2) 腐殖质的聚积过程和微弱的灰化过程。即云杉林下土壤在发生方面的最大特征为: 一方面具有某些富铝化作用的特征, 另一方面进行着腐殖质聚积过程和微弱的灰化过程; 这就形成了云杉林下“亚热带高山森林土”特殊的成土过程——土壤腐殖质组成中以含胡敏酸为主, 铁的可溶性很大, 粘土矿物以高岭土组矿物为主。

根据上述土壤形成过程的特点, 云杉林下的“亚热带高山森林土”主要可分为: (1) 亚热带高山暗棕色森林土; (2) 亚热带高山棕色森林土。随着海拔高度的升高, 逐渐过渡为冷杉林下的“亚热带高山森林土”。

(三) 亚热带高山森林潜育土的形成 亚热带高山森林潜育土位于垂直分布带的

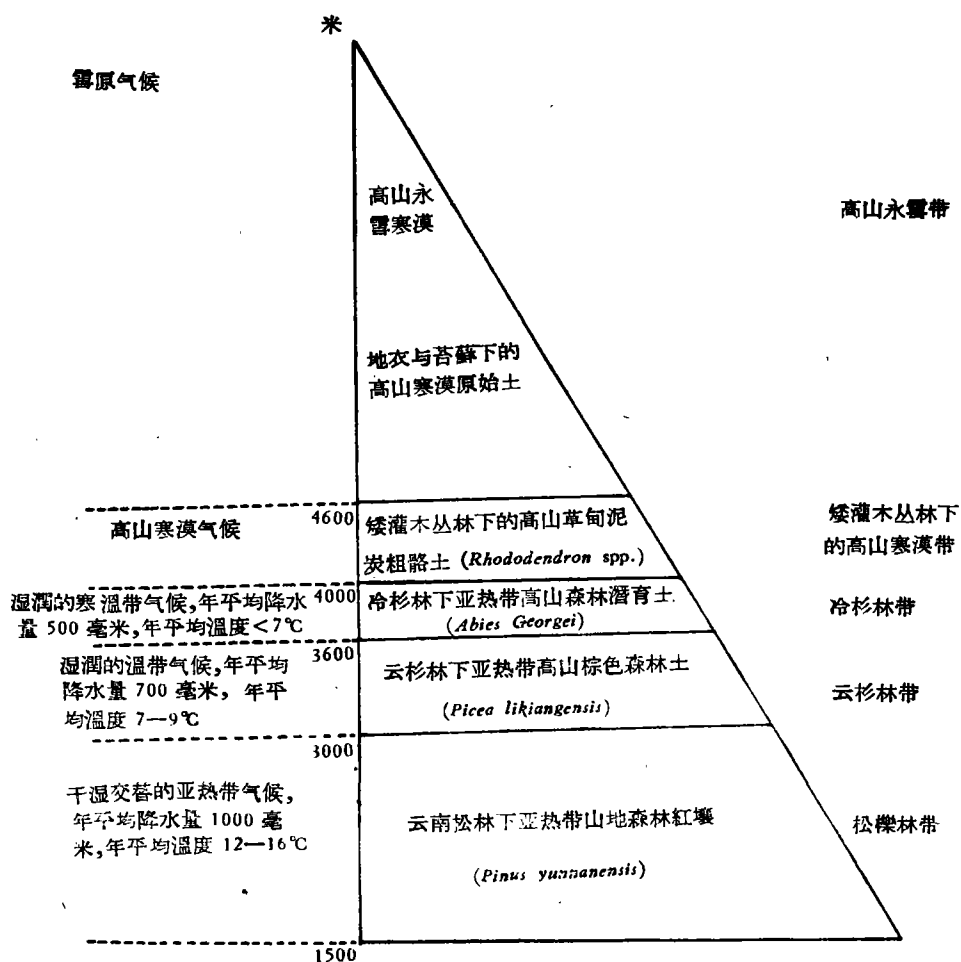


图 3 青藏高原东南部边缘亚热带高原及高山区土壤植物气候垂直分布示意图

上部(海拔高度 3,600—4,000 米之間),以郁閉的冷杉(*Abies georgei* 等)天然林为主,属于湿润的寒温带气候,生长季节较短,冬季漫长,积雪达 2 米左右,年降水量约 500 毫米,年平均温度小于 7°C,母岩一般以沉积岩为主,其主要的成土作用特征:(1)泥炭作用——高位沼泽泥炭的累积过程;(2)潜育作用——铁被还原成亚铁而遭淋失,氧化铝则相对地比较稳定。即冷杉林下土壤在发生方面的最大特征为:在郁閉的冷杉林冠下,形成了它特殊的气候环境,空气的相对湿度很大,造成了土壤中周期性的水分过剩,因此土壤中的成土作用以泥炭与潜育作用为主,这就造成了冷杉林下“亚热带高山森林土”的特殊的成土过程——土壤腐殖质组成中以含富里酸为主,铁的可溶性很大,铁与富里酸结合成稳定的铁有机络合物,促使其往土壤下层移动,形成灰白色的潜育层和褐色的腐殖质铁淀积层,高岭化作用较弱,土壤上层以拜来石矿物为主。土壤的微结构较好。

根据上述土壤形成特点,冷杉林下的“亚热带高山森林土”主要可分为:(1)亚热带高山暗棕色森林潜育土;(2)亚热带高山森林泥炭潜育土;(3)亚热带高山草甸-森林泥炭潜育土。随着海拔高度的升高,逐渐过渡为高山矮灌木丛林下的高山草甸泥炭潜育粗粒土以及地衣苔藓下的高山寒漠原始土。

总起来说,青藏高原东南部边缘亚热带高原及高山区的森林土壤具有其特殊的形成特征;不同海拔高度分布的植被性质对土壤形成过程表现出完全不同的影响。因此森林土壤垂直分布的规律性表现得非常明显(表 1,图 3)。

表 1 青藏高原东南部边缘亚热带高原及高山区森林土壤垂直分布形成的生物气候因子

垂直森林带	垂直气候带	垂直土壤带		林木生产率	
		土 类	亚 类	地位级	蓄积量 (米 ³ /公顷)
云南松林带(以 <i>Pinus yunnanensis</i> 占优势) 海拔 1,500—3,000 米	森林干湿交替的亚热带高原气候	亚热带山地森林红壤	山地森林典型红壤 山地森林灰化红壤	I—II(I*)	500
云杉林带(以 <i>Picea likiangensis</i> 等为主) 海拔 3,000—3,600 米	森林湿润的温带气候	亚热带高山森林土 (含胡敏酸铁为主)	亚热带高山棕色森林土 亚热带高山暗棕色森林土	II—III(I)	800
冷杉林带(以 <i>Abies georgei</i> 等为主) 海拔 3,600—4,000 米	森林湿润的寒温带气候	亚热带高山森林土 (含富里酸铁为主)	亚热带高山暗棕色森林潜育土 亚热带高山森林泥炭潜育土 亚热带高山草甸森林泥炭潜育土	III—IV(V)	600

二、主要土壤类型的性质及其特征

(一) 云南松林下的亚热带山地森林红壤

云南松林下的亚热带山地森林红壤,其亚类主要可分为:(1)山地森林典型红壤;(2)山地森林灰化红壤。其剖面形态特征如下:

山地森林典型红壤 剖面 K-1,沙鲁里山南部,海拔 2,200 米,北坡,坡度 25°,赤柏云南松林,地位级 I*。

A₀ 0—1 厘米:薄层成块状分布的森林枯枝落叶层,疏松,褐色。

A₁ 1—11 厘米:棕褐色,轻壤土,湿,块状粒状结构,稍紧,草本植物的根强烈地盘结着,木本植物的根较少,有很多半分解的植物残体及真菌菌丝,逐渐过渡至 AB 层。

AB 11—31 厘米:褐棕色,中壤土,湿,块核状结构,稍紧,木本植物的根较多,有真菌

菌絲体及角砾侵入, 逐渐过渡至 BC_1 层。

BC_1 31—55 厘米: 棕色, 中壤土, 湿, 块状, 较紧, 木本植物的根不多, 逐渐过渡至 BC_2 层。

BC_2 55—78 厘米: 棕色, 重壤土, 潮, 块状, 紧密, 根很少, 逐渐过渡至 C 层。

C 78—110 厘米: 棕色, 中壤土, 潮, 块状, 极紧密, 有个别木本植物的根系, 有少量角砾侵入。

成土母质为铁质砂岩风化的壤土质原积物。

山地森林灰化红壤 剖面 K-3, 沙鲁里山南部, 海拔高度 2,550 米, 西南坡, 坡度 13° , 林型为灰化红壤上的云南松林, 地位级 III。

A_0 0—1 厘米: 枯枝落叶层, 浅褐色, 疏松, 夹杂有少量的角砾。

A_1 1—6 厘米: 褐灰色, 轻壤土, 潮, 粉状无结构, 疏松—稍紧密, 有真菌菌絲及木本植物和草本植物根盘结, 并有少量的炭屑和角砾, 向 A_2 层过渡明显。

A_2 6—20 厘米: 灰白色, 稍带有土黄色色调, 潮, 轻壤土, 粉状无结构, 稍紧密, 贯穿有木本植物及草本植物的根, 遇有少量的角砾。向 A_2B 层过渡较明显。

A_2B 20—35 厘米: 带灰的浅黄棕色, 轻壤土, 潮, 粉状小块状结构, 稍紧, 植物根很少, 含有多量的角砾, 向 B 层过渡较明显。

B 35—60 厘米: 浅黄棕色, 中壤土, 湿, 块状一大块状结构, 紧密, 植物根很少, 有大量的角砾侵入, 过渡至 C 层较明显。

C 60—115 厘米: 浅黄棕色, 中壤土, 湿, 无结构, 紧密, 植物根几乎没有, 具有大量的角砾。

母质为硅质砂岩风化的角砾壤土坡积物。

其剖面的化学、物理、矿物性质如下:

1. 全量化学成分, 活性铁、铝、硅, 机械组成(表 2)

从表 2 云南松林下山地森林红壤的全量化学组成上看, 山地森林典型红壤剖面中聚积有大量的二三氧化物(达 38—44%), 相对地二氧化硅的含量不高(50%左右)。值得注意的是二三氧化物与二氧化硅在土壤剖面中的淋溶聚积均不明显, 而山地森林灰化红壤剖面中含有较高量的二氧化硅(达 89%左右), 相对地二三氧化物含量(4—10%左右)在剖面中的淋溶与聚积表现得较明显。表现在 SiO_2/R_2O_3 分子率上山地森林典型红壤与山地森林灰化红壤的区别也较明显。

山地森林典型红壤 SiO_2/R_2O_3 分子率: 2.0—3.0

山地森林灰化红壤 SiO_2/R_2O_3 分子率: 20.0—50.0

云南松林下土壤中全量 CaO 在土壤上层的生物聚积比 MgO 表现得更为明显。

从表 2 云南松林下山地森林红壤的活性铁、铝、硅含量上看, 山地森林典型红壤中的活性铁、铝、硅的数量比山地森林灰化红壤要多得多。一般来讲, 云南松林下土壤上层的活性铁、铝、硅的含量都较高, 而铁和铝的活动性要比硅更大一些。

山地森林典型红壤, 其活性铁、铝的含量很高; 在其下层(从 30 厘米开始)活性铁的含量约占全量铁的 50%, 活性铝的含量约占全量铝的 25%, 而活性硅的含量一般为全量硅的 1—2% 左右。而山地森林灰化红壤, 其上层活性铁、铝的含量为全量的 30—50% 左

表 2 云南松林下山地森林红壤的全量化学组成、活性铁、铝、硅、机械组成*

剖面号	层次深度 (厘米)	烧失量	全量化学组成(占干燥土的百分率)								活性铁、铝、硅 (占干燥土的百分率)		机械组成占烘 干土的百分率	
			SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	<0.001 毫米	<0.01 毫米
K-1 山地森林典型 红壤(海拔高 度 2,200 米)	A ₀ 0—11	19.70	54.80	13.60	24.45	0.25	0.55	1.21	2.81	2.68	4.47	1.59	2.87	24.07
	AB 11—31	16.05	50.80	14.30	26.58	0.29	0.30	1.50	2.42	0.85	1.06	1.08	11.93	33.13
	BC ₁ 31—55	15.80	50.70	13.50	30.63	0.32	0.26	1.32	2.25	5.10	8.71	1.08	17.42	37.02
	BC ₂ 55—78	16.00	47.90	14.10	30.00	0.11	0.21	1.67	2.09	6.05	8.36	2.32	25.80	47.80
	C 78—110	16.05	49.70	13.15	29.18	0.39	0.24	1.44	2.24	5.15	5.48	0.65	11.80	37.40
K-3 山地森林灰化 红壤(海拔高 度 2,550 米)	A ₁ 1—6	13.10	89.2	0.99	2.35	0.21	0.39	0.35	50.07	0.39	1.36	0.18	—	—
	A ₂ 6—20	3.16	89.9	0.88	3.16	0.14	0.18	0.60	40.08	0.36	0.28	0.06	3.03	23.72
	A ₂ B 20—35	3.31	86.6	1.46	6.29	0.23	0.13	0.40	22.04	0.84	2.22	0.08	7.07	27.07
	B 35—60	5.34	84.0	2.59	7.72	0.25	0.14	0.73	15.21	1.87	0.24	0.10	12.88	31.08
	C 60—115	3.25	84.2	1.91	7.32	0.30	0.13	0.46	16.69	0.87	0.71	0.18	—	—

分析者: 林业部土壤分析室。

* 1. 文中全量分析材料中, 有些层次有一定的分析误差(如总量有超过 100% 的); 为了更好地在剖面上下层之间进行比较说明, 现将误差平均分配在各全量化学组成中, 希参考该材料的同志注意。

2. 活性铁、铝、硅的测定方法采用李庆远著的“土壤分析法”, 126—133 页。

右,但活性硅的含量只为全量硅的百分之零点几或零点零几。

从表 2 云南松林下山地森林红壤的机械组成上看,一般来讲,其质地都为壤土;而山地森林典型红壤比山地森林灰化红壤要粘重些。从粘粒(小于 0.001 毫米)在土壤剖面中再分配的现象来看也是较明显的。

2. 代换盐基总量,酸度,腐殖质,全氮,速效性磷、钾的含量

表 3 云南松林下山地森林红壤的代换盐基总量,酸度,腐殖质,全氮,速效性磷、钾的含量

剖面号	层次及深度 (厘米)	代换盐基总量 (毫克当量/100克土) I. 卡宾法	水解酸度 (毫克当量/100克土) I. 卡宾法	pH		腐 殖 质 (%) H. B. 丘林法	全 氮 (%) 凯氏法	C:N	速 效 性 磷 (毫克/100克土) E. 特鲁奥奇法	速 效 性 钾 (毫克/100克土) H. B. 别以夫法
				H ₂ O	KCl					
K-1	A ₀ 0—11	13.74	7.46	6.4	5.6	5.53	0.188	17.1	34.0	12.2
	AB 11—31	13.74	4.97	5.0	5.0	0.57	0.046		20.0	5.5
	BC ₁ 31—55	12.79	3.23	5.0	5.0	0.75	0.069		30.0	5.7
	BC ₂ 55—78	14.69	3.53	5.0	5.0	0.87	0.080		24.0	5.0
	C 78—110	12.10	5.33	5.0	4.8	0.55	0.044		—	—
K-3	A ₁ 1—6	12.15	8.70	—	—	5.71	0.163	20.4	12.0	11.6
	A ₂ 6—20	0.94	2.74	—	—	0.84	0.029		12.0	7.3
	A ₂ B 20—35	1.04	2.38	—	—	0.83	0.029		4.0	5.5
	B 35—60	2.42	2.50	—	—	0.46	0.027		6.0	7.3
	C 60—115	1.15	1.77	—	—	0.16	0.025		—	—

分析者: 林业部土壤分析室。

从表 3 云南松林下山地森林红壤的一些化学分析材料上看,云南松林下土壤的上层,代换盐基总量为 12.0—14.0 毫克当量/100 克土,这可能是由于生物聚积作用的结果。但山地森林典型红壤中代换盐基总量比山地森林灰化红壤中的含量要多得多。水解酸度在云南松林下土壤表层约为 7—9 毫克当量/100 克土,而在其下层约为 2—5 毫克当量/100 克土。值得注意的是,在这些土壤中活性铝的含量很高,因此在这里影响土壤酸度的不仅是氢离子,而铝离子也起很大的作用。

云南松林下腐殖质的主要来源是由于其枯枝落叶的强烈地腐殖质化,同时需要指出的是云南松林下土壤表层的活性铁、铝含量很高,显然,这些腐殖化物质与活性铁、铝水化物相结合成为山地森林红壤中有机-矿物胶体的主要形式。其腐殖质在土壤剖面中的分布的特点是,土壤表层(0—10 厘米)腐殖质含量为 5% 左右,但它们随着深度急剧地降低。山地森林典型红壤上层的碳氮比一般为 15.0 左右,而山地森林灰化红壤上层的碳氮比可达 20.0 左右。速效性磷、钾的含量在云南松林下土壤上层都很高,这是生物聚积作用的结果。但速效性磷的含量在山地森林典型红壤中比山地森林灰化红壤中要多得多,这与土壤中的酸度及铁、铝的游离水化物含量密切相关。

3. 土壤微形态学(微土壤学)的研究

为了更详细地鉴定云南松林下亚热带土壤的微形态构造和它们的粗粒部分矿物组成,更进一步地利用土壤切片的方法在偏光显微镜下进行了研究。

土壤切片的偏光显微镜研究(切片描述):

山地森林灰化红壤:剖面 4001,沙鲁里山南部,海拔高度 2,890 米,东北坡上部 9°,云南松林。

云南松林下山地森林弱灰化红壤的土壤微形态构造
及粗粒部分矿物成分的偏光显微镜照片(剖面4001)

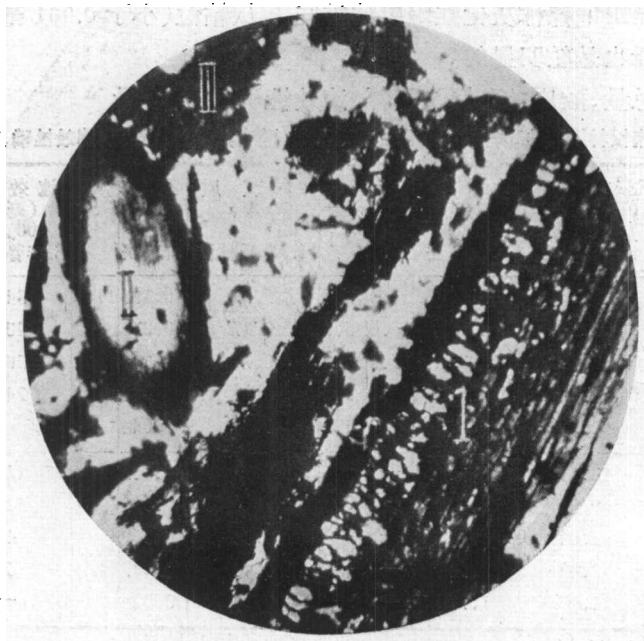


图 4 被分解的植物细胞的结构

I 烧焦了的植物细胞 II 椭圆形的细胞,在其中具有旋光性 III 被分解裂碎成细粒的植物细胞
剖面 4001; A₀ 1—7 厘米;放大 100 倍;平行偏光镜。

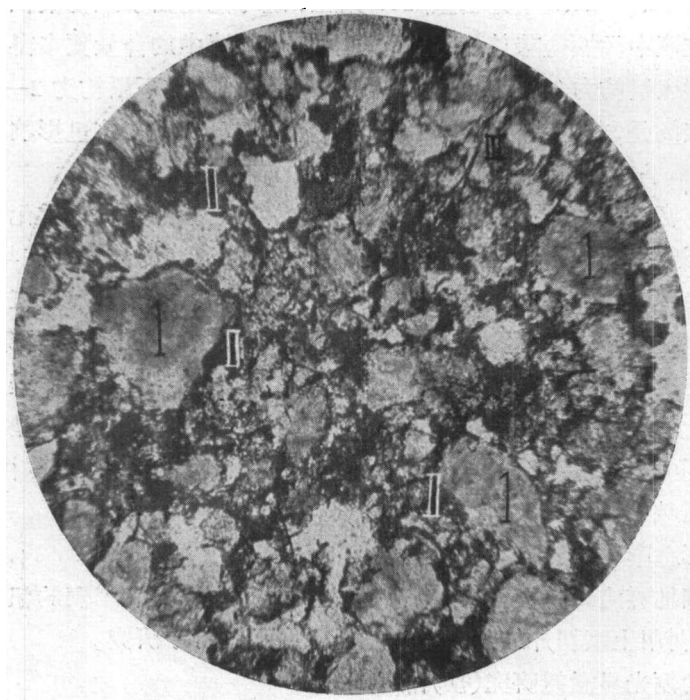


图 5

I 砂粒 II 疏松的粘土—有机质胶结物 III 细长的黑色的真菌菌丝
剖面 4001, A 7—12 厘米,放大 100 倍,平行偏光镜。

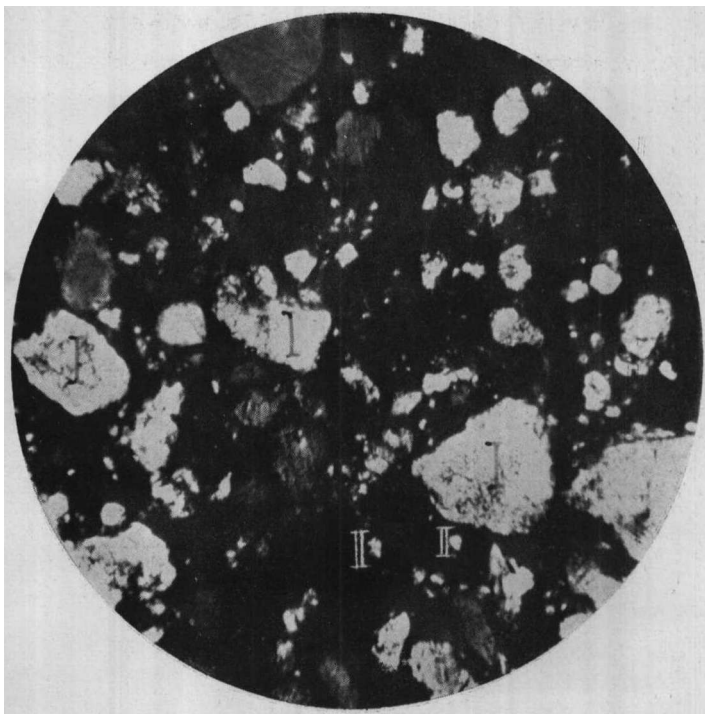


图 6 与上面照片同,在正交偏光镜下
I 棱角形砂粒 II 棱角形粉粒
剖面 4001; A 7—12 厘米;放大 100 倍;正交偏光镜。

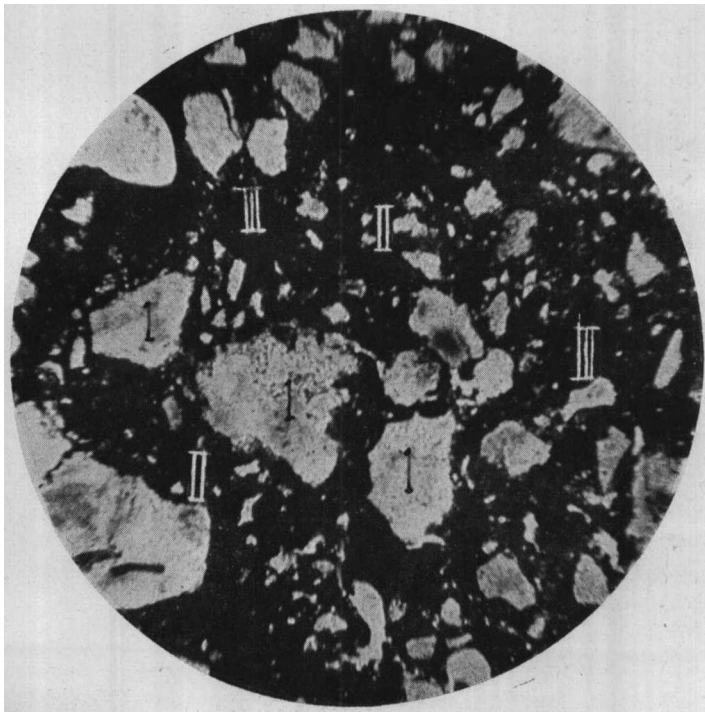


图 7
I 砂粒 II 粉粒 III 流动粘土
剖面 4001, BC 38—55 厘米,放大 100 倍,平行偏光镜。

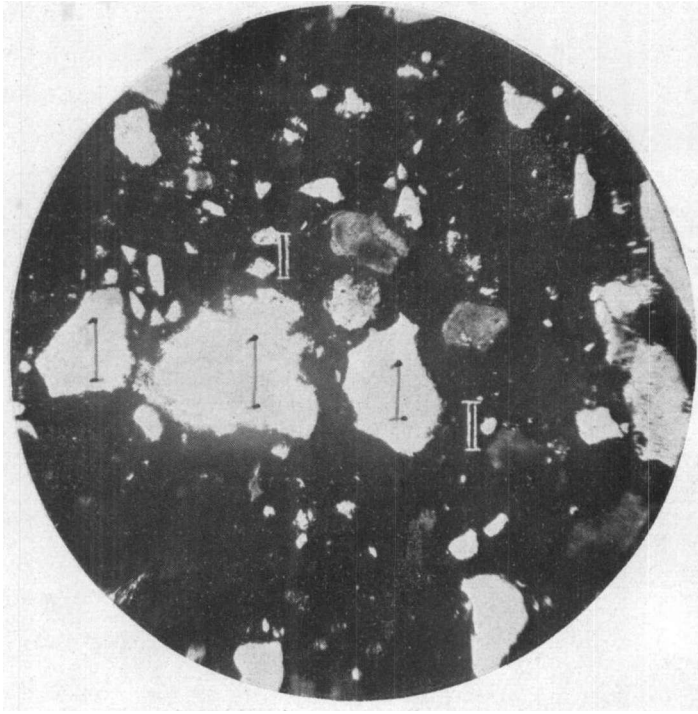


图8 与上面照片同,在正交偏光镜下,可以看到砂粒(I)与粉粒(II)的数量减少(与A7—12厘米处比较)剖面4001, BC 38—55厘米,放大100倍,正交偏光镜。

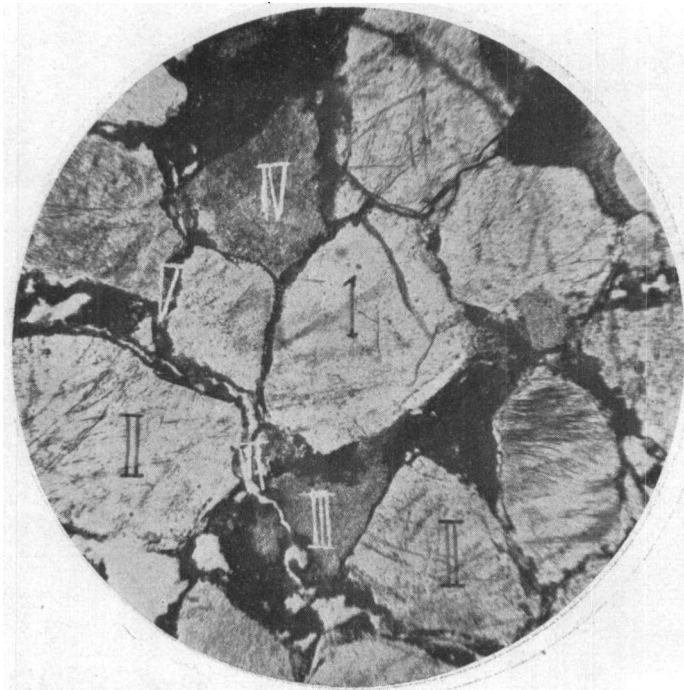


图9 紫色砂岩母岩—为均匀粒子的砂岩;其胶结物为流动粘土和有机-矿物物质
I 石英,部分具有裂痕 II 没有裂痕的石英 III 絹云石碎片 IV 硅石碎片 V 胶结物 VI 裂缝
剖面4001, 母岩,放大100倍,平行偏光镜。

A₀ 1—7 厘米(图 4): 为被分解的植物残体, 这里能呈偏光的新鲜的植物细胞很少, 大部分植物细胞已碳化, 并分离成为很多碳粒。可以观察到有植物性硅酸结晶。在一些没有碳化了的细胞里遇见有真菌菌丝。在细胞间和在被烧灼过的植物残体里具有砂粉粒, 其矿物组成与下层相同。

A 7—12 厘米(图 5, 6): 淋溶层, 这里的粘粒部分已大部淋洗入下层。

砂粉粒的矿物组成: 主要为石英, 长石在切片中没有发现。标准矿物有角闪石、绿帘石、石榴石、榍石——也就是说, 这是酸性的或变质酸性岩的矿物组合。植物性硅酸结晶很少。在结持力疏松的地方有很多真菌菌丝。可以从土壤颜色呈现棕色及存在有大量棕色的和碳质的粒子来判定这里有机物质很多。稍白带红的反射光说明了在粘土-有机物质中有胶体状态的铁存在。

BC 38—55 厘米(图 7, 8): 在这层里很好地反映出了带棕红色流动粘土淋溶的特征。大部分流动粘土由于脱水作用而改变, 因此在偏光下具有纤维状结构。而没有改变的流动粘土在正交偏光镜下具有特征性的钟乳状结构和带状微结构。在流动粘土里发现有有机物质碳粒的混入物。在反射光里, 不管是粘土部分或是有机物质部分都具有较深红的颜色, 这表明这里有胶体状态的氧化铁存在, 它均匀地分布在土壤剖面中。

D 紫色砂岩(图 9): 为均匀的粒状砂岩, 砂岩的矿物组成为石英碎片、石英-絹云母、硅石及其他, 其中以石英占优势, 石英粒上可以看到有裂痕。砂岩的胶结物是流动粘土和一些未知的棕色物质。

4. 粘粒的矿物组成

粘土矿物的形成性质是土壤形成过程最有指示性的标志。对土壤的粘粒部分(小于 0.001 毫米)应用了差热分析、X 射线分析、电子显微镜鉴定及粘粒的全量化学分析方法进行了研究。

(1) 云南松林下山地森林典型红壤(剖面 K-1) 中粘粒部分(小于 0.001 毫米)的差热分析研究(图 10)。

山地森林典型红壤具有 4 个特征性的热反应:

第一个吸热反应: 在 100—130° 之間, 是由吸湿水及松结合水的释放所引起。

第二个吸热反应: 在 260—340°C 之間, 是由于水分自二三氧化物矿物结晶格上释放出来所致。

第三个吸热反应: 在 550—625° 之間, 与粘土矿物结晶格的破坏有关。

第四个放热反应: 在 975—1,025°C 之間, 是由新的矿物从粘土矿物破坏产物中形成所引起。

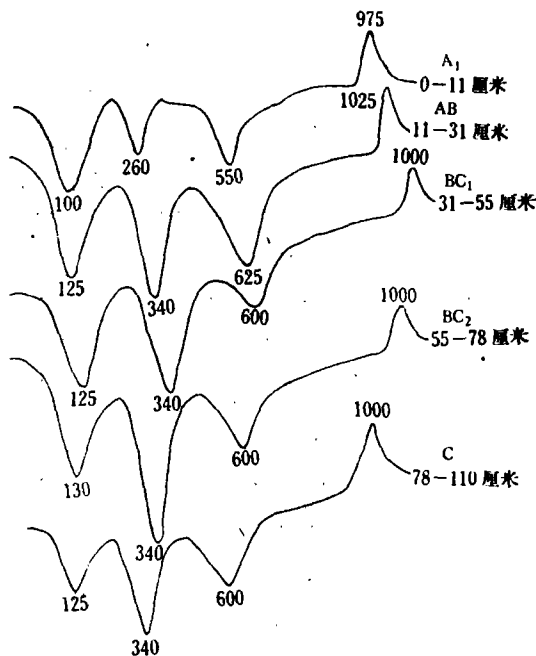


图 10 云南松林下山地森林典型红壤粘粒部分(小于 0.001 毫米)的差热曲线(剖面 K-1)

在土壤深度 0—11 厘米, 11—31 厘米, 31—55 厘米, 55—78 厘米, 78—110 厘米的所有差热曲线中都发现有这样的吸热反应: 100—130°C; 260—340°C; 550—625°C; 当温度为 975—1025°C 时都有一个不大的放热反应(图 10)。

上述差热曲线材料说明在所有样品中都含有一定量的高岭土组矿物(高岭石, 多水高岭石)和大量二三氧化物矿物(水铝矿——特别在 BC_2 层中含三水铝石特多, 针铁矿), 而且在各层中都含有非晶物质, 但 C 层较少。

(2) 云南松林下山地森林典型红壤(剖面 K-1)中粘粒部分(小于 0.001 毫米)的电子显微镜研究, 同样也证明了高岭土组矿物和二三氧化物矿物的存在。从电子显微镜下观察, 这里的粘土矿物, 无论按颗粒大小或是根据它们的形状都和与高岭石及三水铝石相似; 同时可以观察到胶粒和胶粒间结成了团聚体。值得提出的是在我们研究的试样中, 未曾发现具有针状结晶的多水高岭石, 而差热分析及 X 射线材料中证明了它的存在, 这可能是 Н. И. Горбунов (1954 年) 所指出的, 针状结晶不是土壤的多水高岭石所必备的形式。

(3) 云南松林下山地森林典型红壤(剖面 K-1)中粘粒部分(小于 0.001 毫米)的 X 射线研究。

从 A_1 层(0—11 厘米)分离出来粘粒的 X 射线绕射谱上具有很暗的底色, 而在它们的特征线条中可以发现在这一层中具有足够数量的水铝矿和某些混入物(可能是多水高岭石)。而 AB 、 BC_1 、 BC_2 层粘粒的 X 射线绕射谱只显现了很弱的反射线条。在 C 层(78—110 厘米)粘粒的 X 射线绕射谱上没有底色, 线条很清楚, 这些线条和三水铝石的线条很相似。

各层(A_1 , BC , C)粘粒部分的矿物都含有低角度衍射线(9.79—15.15, 9.79—12.70 和 9.05—12.70 Å)的最强谱线, 这可能是拜来石矿物所致, 并且 A 层的拜来石可能已部分脱水(15.15 Å 的存在)。但在各层(A_1 , BC , C)粘粒部分的 X 射线数据中并未发现有高岭石的特征线(7.1 Å)。这种与差热分析相矛盾的结论, 很可能是含有拜来石和高岭石矿物(包括埃洛石在内的)混合物的结果。另外, 从 X 射线衍射图的背景上可以看出, A_1 层的非晶物质较 AB 、 BC_1 、 BC_2 层为多, 而 C 层很少。

总的说来, 所有差热分析, 电子显微镜鉴定, X 射线分析材料均证明云南松林下山地森林典型红壤(剖面 K-1)粘粒部分含有的矿物为高岭土组矿物(高岭石, 多水高岭石), 拜来石和非晶物质, 与此同时, 还有大量的水铝矿(三水铝石)和针铁矿的存在。

(二) 云杉林下的亚热带高山森林土

云杉林下的亚热带高山森林土, 其亚类主要可分为: (1) 亚热带高山暗棕色森林土; (2) 亚热带高山棕色森林土。其剖面形态特征如下:

亚热带高山暗棕色森林土 剖面 E-2, 沙鲁里山南部, 海拔高度 3,400 米, 西北坡 29°, 大竹子云杉林, 地位级 III。

A_0 0—5 厘米: 由半分解的云杉的枯枝落叶和苔藓组成的地被物层, 有多量的真菌菌丝, 极度湿。

A 5—19 厘米: 带灰的褐色, 重湿, 中壤土, 团粒结构, 稍紧密, 竹子根密集地盘结着, 有少量的真菌菌丝和角砾, 逐渐过渡至 B_1 层。

B_1 19—38 厘米: 棕褐色, 重湿, 中壤土, 块状结构; 紧密, 全层贯穿着木本植物及竹子

的根,有少量的真菌菌絲及大量的角砾(30—40%)侵入。

B₂ 38—57 厘米:黄棕色,重湿,中壤土,大块状结构;紧密,根很少,角砾比上层要少(約 20%左右),过渡至 C 层不明显。

C 57—77 厘米及 77 厘米以下:浅褐色,重湿,中壤土,几乎无结构,有个别的木本植物根系,紧密,角砾的含量約 20% 左右。

成土母质为石块角砾壤土的坡积物。

剖面 E-4: 竹子云杉林下的土壤,其剖面形态特征与剖面 E-2 很相似。

亚热带高山棕色森林土 剖面 E-3. 沙鲁山南部,海拔高度 3,240 米,东坡 12°,溪旁云杉林,地位级 I^b。

A₀ 0—5 厘米:为半分解的云杉的枯枝落叶所组成,湿,有較多的真菌菌絲。

A₁ 5—8 厘米:暗棕色,湿,团粒结构,中壤土,混杂有很多半分解的植物残体,有大量的真菌菌絲,草本植物的根强烈地盘结着,角砾不多。

AB 8—20 厘米:褐棕色,湿,粒块状结构,重壤土,貫穿着木本植物的根系,遇见有少量的角砾及真菌菌絲,过渡至 B₁ 层不明显。

B₁ 20—68 厘米:棕色,湿,块状结构,輕壤土,較紧密,但多細孔,根比上层要多,有少量真菌菌絲及角砾,逐渐过渡至 B₂ 层。

B₂ 68—91 厘米:棕色,湿,大块状结构,輕粘土,紧密,根不多,有少量角砾及炭屑。

BC 91—120 厘米:棕色,大块状结构,輕粘土,紧密,根很少,逐渐过渡至 C 层。

C 120—156 厘米:黄棕色,輕粘土,无结构,有石块和角砾,根几乎沒有。

成土母质为石块角砾輕粘土坡积物。

其剖面的化学、物理、矿物性质如下:

1. 全量化学成分,活性鉄、鋁、硅,机械组成(表 4)

表 4 中云杉林下亚热带高山森林土全量化学分析的材料表明,在云杉林下的土壤中,沒有发生明显的 SiO₂ 在上层聚积和 R₂O₃ 减少这种灰化过程的特征,而在某些上层(5—20 厘米)有 SiO₂ 的聚积(一般比下层多 3—4% 左右),这可能是由于云杉的針叶归还土壤 SiO₂ 所致,因为在云杉枯枝落叶层中 SiO₂ 的含量几乎达 70% 左右。

二三氧化物在土壤剖面中的分布相对地較均匀,而仅仅有时发现有往下层較微弱移动的现象。二三氧化物在土壤剖面中的大量聚积(达 30—50% 左右),且分布均匀,这表明这些土壤很接近于亚热带土壤的性质,而灰化作用不明显。云杉林下土壤 SiO₂/R₂O₃ 分子率为 3.0—5.0 左右,在全剖面中变动很小, A 层: B 层的 SiO₂/R₂O₃ 分子率值几乎接近于“1”。但其粘粒部分(小于 0.001 毫米)的 SiO₂/R₂O₃ 分子率在 1.5—2.5 之間。

CaO、MgO、P₂O₅ 在土壤表层的聚积是次生的,同样是生物作用的结果。

从表 4 云杉林下土壤的活性鉄、鋁、硅含量上看, SiO₂ 在土壤上层聚积和鉄的淋溶现象均不显著,而鋁稍有移动的现象。活性鉄的含量約占全量鉄的 15—25% 左右,活性鋁的含量約占全量鋁的 6% 左右,而活性硅的含量較少,只占全量硅的千分之二到千分之五。这样看来,鉄的可溶性为该土壤特征性质之一。

从表 4 云杉林下土壤的机械组成上看,一般来讲,其質地都为壤土或重壤土。亚热带高山棕色森林土比亚热带高山暗棕色森林土要粘重些。从小于 0.001 毫米的粘粒在剖

表 4 云杉林下亚热带高山森林土的全量化学组成, 活性铁、铝、硅、机械组成

剖面号	层次及深度 (厘米)	烧失量	全量化学组成(占焙烧土的百分率)								活性铁、铝、硅 (占烘干土的百分率)			机械组成 (占烘干土的百分率)	
			SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	<0.001毫米	<0.01毫米	
E-2 亚热带高山暗 棕色森林土 (竹子云杉林)	A ₁ 5—19	24.40	60.0	15.04	15.60	0.62	1.36	3.86	4.05	—	—	—	—	—	
	B ₁ 19—38	18.10	57.2	14.45	19.24	0.66	1.04	3.44	3.42	—	—	—	8.8	39.4	
	B ₂ 38—57	18.10	57.8	10.06	21.85	0.39	1.44	4.26	3.47	—	—	—	10.8	38.8	
	C 57—77	15.85	58.2	15.15	18.55	0.47	0.91	3.48	3.44	—	—	—	6.8	38.4	
E-4 亚热带高山暗 棕色森林土 (竹子云杉林)	0—2	40.38	69.72	4.41	17.17	0.47	1.95	0.87	5.82	—	—	—	—	—	
	4—9	27.14	73.52	4.68	18.56	0.22	1.03	0.44	5.75	0.66	1.16	0.11	—	—	
	12—20	16.83	72.74	5.16	18.94	0.11	0.72	0.49	5.57	1.12	0.56	0.21	—	—	
	30—40	10.45	69.10	7.69	19.77	0.02	0.71	0.90	4.81	1.90	1.15	0.35	—	—	
	70—80	6.49	69.60	6.05	19.36	0.01	0.61	1.32	5.09	—	—	—	—	—	
E-3 亚热带高山棕 色森林土 (溪旁云杉林)	A ₁ 5—8	34.30	52.9	22.10	13.58	0.50	2.65	3.65	3.25	—	—	—	—	—	
	AB 8—20	17.95	49.2	19.65	23.58	0.31	1.09	2.68	2.32	—	—	—	11.4	40.4	
	B ₁ 20—68	12.26	55.7	16.30	19.50	0.51	0.94	3.38	3.18	—	—	—	16.4	51.4	
	B ₂ 68—91	14.23	46.5	23.10	23.58	0.48	0.70	2.15	2.06	—	—	—	16.4	56.4	
	BC 91—120	16.40	39.6	26.77	26.41	0.37	0.61	2.32	1.55	—	—	—	7.4	60.4	
	C 120—156	16.69	37.8	29.25	26.42	0.44	0.57	2.05	1.42	—	—	—	3.4	53.4	

分析者: 林业部土壤分析室, 苏联科学院森林研究所森林土壤研究室。

面中移动现象上看也是不很明显的,因此也没有形成有大量粘粒累积的明显的淀积层。

2. 代换盐基总量, 酸度, 腐殖质, 全氮, 速效性磷钾的含量

表 5 云杉林下亚热带高山森林土的代换盐基总量, 酸度, 腐殖质, 全氮, 速效性磷, 钾的含量

剖面号	层次及深度 (厘米)	代换盐基总量 (毫克当量/100克土) Γ.卡宾法	水解酸度 (毫克当量/100克土) Γ.卡宾法	pH		腐 殖 质 (%) H.B. 丘林法	全氮 (%) 凱氏法	C:N	速效性磷 (毫克/100克土) B.特魯奧奇法	速效性钾 (毫克/100克土) Я.Б.別以夫法
				H ₂ O	KCl					
E-2	A ₁ 5—19	7.45	28.65	4.8	4.4	14.38	0.50	16.7	34.0	10.0
	B ₁ 19—38	4.15	13.14	5.0	4.5	7.21	0.25		8.0	10.0
	B ₂ 38—57	6.60	9.66	4.8	4.6	4.24	0.16		4.0	10.3
	C 57—77	5.50	8.47	5.0	4.9	—	0.19		6.0	9.0
E-3	A ₁ 5—8	26.65	16.10	5.6	4.9	19.71	0.74	14.1	10.0	23.5
	AB 8—20	10.30	15.68	5.1	4.6	5.67	0.22		16.0	20.0
	B ₁ 20—68	7.95	9.75	4.9	4.6	1.63	0.11		8.0	6.7
	B ₂ 68—91	14.70	7.63	5.1	4.8	1.53	0.088		4.0	7.2
	BC 91—120	18.70	6.78	5.2	4.9	0.78	0.056		4.0	7.2
	C 120—156	20.50	6.35	5.4	5.0	0.89	0.069		4.0	9.0

分析者: 林业部土壤分析室。

从表 5 云杉林下亚热带高山森林土的一些化学分析材料上看, 亚热带高山棕色森林土的盐基饱和度比亚热带高山暗棕色森林土要大得多。表现在酸度上也是有区别的, 亚热带暗棕色森林土($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}=5.0$, $\text{pH}_{\text{KCl}}=4.5$)比亚热带棕色森林土($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}=5.5$; $\text{pH}_{\text{KCl}}=4.5-5.0$)要酸一些。

速效性磷、钾的含量在云杉林下土壤的上层(0—20 厘米)都很大(速效性磷 15—30 毫克/100 克土, 速效性钾 10—20 毫克/100 克土), 这些速效性磷、钾在土壤上层的大量聚积是由于生物作用的结果。

在这些土壤上层的另一个共同特点是腐殖质含量都比较大(15—20%左右), 而且腐殖质层的厚度也很大, 在云杉林下亚热带高山暗棕色森林土中在 100 厘米深处还发现有 2% 的腐殖质含量。亚热带高山棕色森林土上层的碳氮比为 14.0 左右, 而亚热带高山暗棕色森林土上层的碳氮比稍大一些, 为 17.0 左右。

从竹子云杉林下土壤腐殖质组成的分析材料(表 6)可以看出, 仅仅是在枯枝落叶层中形成较高的可溶性富里酸含量, 在 A 层中(4—20 厘米)胡敏酸含量很大, 因此也决定了胡敏酸与富里酸的比值较高(1.36—2.64)。从前述一系列的分析材料来看, 证明胡敏酸物

表 6 云杉林下亚热带高山暗棕色森林土的腐殖质组成(占全碳量的百分率)

剖面号	深度 (厘米)	全碳量 (%)	腐殖质物质的成分 %					胡敏酸与富里酸的比值
			苯乙醇提取的物质 —脂蜡物质	脱钙时提取的物质 —在 1.0 N NaSO ₄ 中的溶解物质	胡敏酸	富里酸	残余物	
E-4 (竹子云杉林下的土壤)	0—2	23.07	4.8	0.8	18.7	25.4	46.8	0.74
	4—9	10.21	4.1	1.3	31.5	23.1	34.0	1.36
	15—20	5.89	3.7	1.2	41.0	15.4	35.5	2.64
	30—40	1.86	3.2	3.2	14.0	51.1	22.6	0.27

分析者: 苏联科学院森林研究所森林土壤研究室。

质主要是与可溶性铁相结合,这是云杉林下亚热带高山森林土独特的生物气候条件所造成的。另外,在这些土壤脱钙时提取出的物质及脂蜡物质都较少,证明其腐殖物质较稳定,这也与钙及较高的残余物的碳含量有关。

3. 土壤微形态学(微土壤学)的研究

为了更详细地鉴定云杉林下亚热带高山森林土的微形态构造和它们的粗粒部分的矿物组成,利用土壤切片的方法在偏光显微镜下进行了研究(图未附)。

亚热带高山暗棕色森林土:剖面 3016,云岭山西坡,海拔高度 3,320 米;北坡 12° ,小竹子云杉林,地位级 II。

A₀ 0—5 厘米:枯枝落叶层,可以看到部分已分解了的植物细胞,保存有很多生物性矿物——植物性硅酸结晶和草酸钙石。

A 5—8 厘米:土壤呈均匀的褐色,有很多磁铁矿,及部分三水铝石(水铝矿)、高岭石、多水高岭石和其他粘土矿物。水铝矿在这里呈直径为 0.002—0.003 毫米的针状矿物。指示性矿物中遇见有辉石。植物性硅酸结晶很多,其形状对针叶树种是很典型的。砂粉粒分布均匀。

粘土部分对偏光不起作用,这是由于拜来石型的粘土物质与胡敏酸化合物相互作用的结果,同样与高岭石—多水高岭石组粘土矿物的存在有关,而这也证明了没有蒙脱石矿物的存在。

反射光的色调是稍白带红色。水化铁和岩石的碎屑很多,在这里磁铁矿已整个地转变成水化铁。

土壤的结构呈团粒—粉粒状,粉粒的大小平均为 0.01—0.02 毫米,这些结构的形成应该说是与铁化合物粘土物质胶凝的作用有关,在这一点上与亚热带红壤的性质很近似。

B 18—47 厘米:土壤呈橙褐色,反射光的色调仍是稍白带红色。砂粉粒的矿物组成与上层同,但纤维状矿物增多,而石英反而变得少了些。植物性硅酸结晶很少。土壤中有裂缝。从土壤切片的研究中可以确定,这里土壤的紧密度很大。

C 47—95 厘米:土壤呈橙褐色,这里有机物质很少。反射光仍是稍白带红色的色调,但比上层稍浅些。土壤的结持力紧密。

砂粉粒比上层要多,特别可以明显觉察出有针状矿物存在。这里与上层不同的地方是能观察到土壤粘土物质的偏光,在粘土物质里没有发现拜来石型的粘土。

4. 粘粒的矿物组成

对云杉林下亚热带高山森林土的粘粒部分(小于 0.001 毫米)应用了差热分析、X 射线分析及电子显微镜鉴定、粘粒的全量化学组成分析等方法进行了研究。

(1) 云杉林下亚热带高山棕色森林土(剖面 E-3)粘粒部分的差热分析研究(图 11)。

亚热带高山棕色森林土也具有 4 个特征性的热反应:

第一个吸热反应:在 $100—125^{\circ}\text{C}$ 之间,是由吸湿水及松结合水的释放所引起。

第二个吸热反应:在 $300—320^{\circ}\text{C}$ 之间,是由于水分自二三氧化物矿物结晶格释放出所致。

第三个吸热反应:在 $600—640^{\circ}$ 之间,与粘土矿物结晶格的破坏有关。

第四个放热反应:在 $970^{\circ}—1,025^{\circ}\text{C}$ 之间,是由新的矿物从粘土矿物破坏产物中形成

所引起。

剖面 E-3 所有层次 (AB 8—20 厘米, B₁ 20—68 厘米, B₂ 68—91 厘米, BC 91—120 厘米, C 120—156 厘米) 的差热曲线都表现出一个明显的相似的共同特征: 在温度 110—125°C、300—320°C 和 600—640°C 时都有三个吸热反应, 当温度在 970—1,025°C 时都有一个放热反应。

图 11 所有差热曲线所表现出来的峯谷的形式与云南松林下亚热带山地森林红壤的差热曲线很相似。

图 11 所有差热曲线说明了在剖面 E-3 中作为主导矿物的是高岭土组矿物 (高岭石, 多水高岭石) 和具有很多二氧化物矿物的混合物 (三水铝石, 针铁矿)。二氧化物矿物的数量比云南松林下亚热带山地森林红壤中要少一些, 而高岭土组矿物则较多。三水铝石相对地聚积在 B₂ 层 (68—91 厘米), 从 B₂ 层开始沿剖面向下有减少现象, 而针铁矿的数量则相反地增加。高岭石和多水高岭石在剖面中分布较均匀, 没有向下移动的现象。

(2) 云杉林下亚热带高山棕色森林土 (剖面 E-3) 中粘粒部分 (小于 0.001 毫米) 的电子显微镜鉴定, 同样也证实了高岭土组矿物和二氧化物矿物的存在。从电子显微镜下观察, 这里的粘土矿物不论是它们的形状和颗粒大小都和高岭石及三水铝石有些相似, 并且发现有拜来石存在。值得注意的是, 在这里我们未曾发现有针状结晶形式的多水高岭石, 但在其他材料中证明了它的存在。

(3) 云杉林下亚热带高山棕色森林土 (剖面 E-3) 中粘粒部分 (小于 0.001 毫米) 的 X 射线研究。

亚热带高山棕色森林土 (剖面 E-3) 粘粒部分 (小于 0.001 毫米) 的 X 射线数据发现有高岭石的特射线: 7.08—7.39, 3.58—4.12, 2.33—2.58, 2.18—2.20, 1.66—1.69 Å 等。

从 AB 层 (8—20 厘米) 的 X 射线谱上可以看出, 在 AB 层含有弱结晶化的物质, 这些物质给予了很弱的线条, 其 X 射线谱的性质与多水高岭石相似, 可能还混杂有针铁矿和水铝矿。

实际上可以认为 B₁ (20—68 厘米)、B₂ (68—91 厘米)、BC (91—120 厘米) 等层次的 X 射线谱材料是非晶质的 X 射线, 其线条不清晰的原因, 可能是由于制备样品时磨得太碎或样品本来就是非晶质的。而 BC 层、C 层粘粒部分的矿物都含有低角度的衍射线 (9.05—11.25 Å 和 9.05—14.10 Å) 的最强谱线, 可能为拜来石矿物所致。

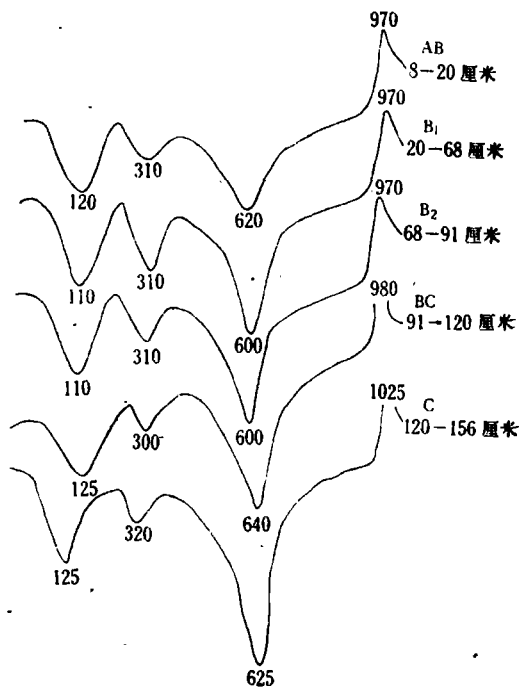


图 11 云杉林下亚热带高山棕色森林土粘粒部分 (小于 0.001 毫米) 的差热曲线 (剖面 E-3)

在C层(120—156厘米)的X射线谱与三水铝石很相似,但其分散性较一般为强。

以上的X射线数据说明了在所有样品中除了含有高岭土组矿物以外,还具有拜来石、水铝矿的线条。

(4) 云杉林下亚热带高山暗棕色森林土(剖面 E-4) 粘粒部分(小于 0.001 毫米)的全量化学组成研究。

从云杉林下土壤粘粒部分的全量化学组成分析来看(表 7), $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ 的分子率 = 1.62—2.46。这说明在这些土壤的粘粒中硅酸相当贫乏,而相对地聚积有大量的二三氧化物(约 35—50%),并且在剖面中均匀地分布着。 R_2O_3 的大量聚积说明这些土壤很接近于亚热带土壤的性质。值得提出的是在这些土壤的粘粒部分全量 Al_2O_3 的含量都很高(30—37%左右),且分布均匀,这证明了高岭土组粘土矿物的稳定性及它们在剖面中很少移动,同时也证明了有三水铝石存在。

表 7 云杉林下亚热带高山森林土粘粒部分
(小于 0.001 毫米)的全量化学成分(占焙烧土的%)

剖面号	层次及深度 (厘米)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	CaO (%)	MgO (%)	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 分子率
E-4	4—9	50.22	29.29	8.91	1.24	0.77	4.67	2.46
亚热带高	12—20	45.77	36.53	9.63	0.97	0.56	4.04	2.36
山暗棕色	30—40	43.85	32.76	15.20	0.71	0.62	4.17	1.75
森林土	70—80	41.85	34.64	14.38	0.68	0.64	5.27	1.62

分析者: 苏联科学院森林研究所森林土壤研究室。

总起来说,所有差热分析、电子显微镜鉴定、X射线数据、粘粒的全量化学分析材料都证明了在云杉林下的土壤粘粒部分含有的矿物为高岭土组矿物(多水高岭石,高岭石)、水铝矿和针铁矿,另外,还有拜来石和非晶物质。因此云杉林下的亚热带高山森林土在粘土矿物组成上与云南松林下的亚热带山地森林红壤很相似,只是在数量与程度上有些差别[即在 E-3 标本里三水铝石量显著减少,高岭土类矿物(高岭石和多水高岭石)有所增加],这也证明了云杉林下土壤接近于亚热带土壤的性质。

(三) 冷杉林下的亚热带高山森林土

冷杉林下亚热带高山森林土,其亚类主要可分为:(1)亚热带高山暗棕色森林潜育土,(2)亚热带高山森林泥炭潜育土;(3)亚热带高山草甸-森林泥炭潜育土。其剖面形态特征如下:

亚热带高山暗棕色森林潜育土 剖面 II-1, 沙鲁里山南部,海拔高度 3,740 米,西北坡 26° , 锦丝杉冷杉林,地位级 II。

A_0 0—4 厘米: 藓类枯枝落叶地被物层。

A_1 4—16 厘米: 暗褐色,湿,粉状结构,壤土,较紧,木本植物、草本植物、苔藓植物的根强烈地盘结在这一层里,逐渐过渡至 AB 层。

AB 16—44 厘米: 褐色,湿,团粒-块状结构,轻粘土,较紧,植物根较多,逐渐过渡至 B 层。

B 44—87 厘米: 褐色,湿,大块状结构,重壤土,较紧,植物根较少,过渡至 C 层较明显。

C 87—100 厘米: 褐棕色, 湿, 大块状结构, 轻粘土, 紧密, 植物根几乎没有。

成土母质为頁岩和石灰岩风化粘土坡积物。

亚热带高山森林泥炭潜育土 剖面 II-4, 云岭山西坡, 海拔高度 3,720 米, 东南坡 16°, 杜鹃藓类冷杉林, 地位级 V。

A₀ 0—2 厘米: 藓类及半分解的枯枝落叶地被物层, 有白色菌丝侵入。

A_T 2—15 厘米: 暗棕褐色泥炭层, 重湿, 松软块状, 植物根较多, 有个别块状紫色砂岩侵入及有少量白色菌丝分布, 层次过渡明显。

A_g 15—29 厘米: 灰白色轻壤土潜育层, 块状-粒状结构, 稍紧密, 吸收性根系分布很少, 只有部分输导性根系贯穿经过此层, 有少量石粒、砂粒及白色菌丝侵入, 层次过渡明显。

B₁ 29—42 厘米: 锈褐色沙壤土, 小块状结构, 有机物质含量较多, 紧密, 植物根也较多, 有较多的石块、角砾侵入, 层次过渡明显。

B₂ 42—54 厘米: 暗棕带有紫色的沙壤土, 块状, 紧密, 植物根很少, 有角砾石粒及少量白色菌丝侵入, 层次过渡较明显。

C 54—120 厘米: 浅紫色紧沙土, 沙粒大块状母岩碎块, 紧密, 几乎没有根系分布。

成土母质为紫色砂岩风化的原积石砾紧砂土。

亚热带高山草甸-森林泥炭潜育土 剖面 II-6, 沙鲁里山南部, 海拔高度 3,920 米, 西北坡 20°, 高山-冷杉林, 地位级 V。

A₀ 0—2 厘米: 藓类枯枝落叶地被物层。

A_{OT} 2—7 厘米: 暗褐色, 极湿, 半分解的泥炭层。

A_(g) 7—14 厘米: 褐灰色, 极度湿, 粒块状结构, 中壤土, 有少量石块角砾侵入物, 较紧, 植物根很多, 过渡至 B 层较明显。

B 14—30 厘米: 棕色, 极湿, 大块状结构, 较紧, 中壤土, 石砾侵入物含量约 15% 左右, 植物根很少, 逐渐过渡至 BC 层。

BC 30—60 厘米: 棕色, 重湿, 大块状结构, 紧密, 中壤土, 石砾含量约 40% 左右, 几乎没有植物根。

C 60—82 厘米: 石块角砾石粒层, 石砾含量约 90% 左右。

成土母质为石块角砾石粒原积物。

其剖面的化学、物理、矿物性质如下:

1. 全量化学成分, 活性铁、铝、硅, 机械组成(表 8)

从表 8 冷杉林下亚热带高山森林土的全量分析材料表明, 在潜育层中二三氧化物遭到了显著的淋失, 特别是 Fe_2O_3 , 因为 Fe_2O_3 由于潜育化作用在缺氧的条件下被还原成亚铁, 同时它积极地与水溶性有机物质相作用, 产生了可溶性的稳定的铁的有机络合物, 促使其向下移动, 在其下形成较明显的腐殖质铁淀积层, 在这种情况下 Al_2O_3 的移动就相对地不很显著。除此以外, 在该层中相对地发生了大量 SiO_2 的聚积, 这说明了该土壤中不是进行着灰化作用, 因为灰化作用是使氧化铝、氧化铁同时遭到淋溶, 甚至氧化铝比氧化铁淋失得更快。

从表 8 中还可以明显地看到, 在潜育层中 Fe_2O_3 、 P_2O_5 、 CaO 、 MgO 都相对地减少。这

表8 冷杉林下亚热带高山森林土的全量化学组成,活性铁、铝、硅、机械组成

剖面号	层次及深度 (厘米)	全量化学组成(占焙烧土的百分率)										活性铁、铝、硅 (占烘干土的百分率)		机械组成 (占烘干土的百分率)	
		烧失量	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	—	<0.001毫米	<0.01毫米
II-1 亚热带高山暗 棕色森林潜育 土(锦丝藤冷 杉林)	A ₁ 4—16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.8	38.8
	AB 16—44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.8	50.8
	B 44—87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.8	40.8
	C 87—100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17.8	56.8
II-4 亚热带高山森 林泥炭潜育土 (杜鹃藤类冷 杉林)	A _T 2—5	72.30	68.3	13.20	4.84	3.14	2.71	1.62	9.32	—	—	—	—	—	—
	Ag 15—29	2.41	89.2	3.53	2.32	0.25	0.38	0.42	33.01	—	—	—	—	4.8	27.8
	B ₁ 29—42	25.78	68.2	15.35	11.30	0.71	0.47	1.22	5.48	—	—	—	—	5.4	16.4
	B ₂ 42—54	15.35	71.6	12.80	7.74	0.61	0.44	2.08	7.64	—	—	—	—	5.8	13.4
	C 54—120	6.11	73.9	7.42	11.63	0.59	0.40	1.59	7.68	—	—	—	—	7.4	9.4
II-5 亚热带高山森 林泥炭潜育土 (杜鹃冷杉林)	0—5	61.04	58.37	3.78	17.16	0.65	3.70	1.56	5.15	—	—	—	—	—	—
	5—15	15.55	71.66	4.27	16.48	0.16	0.73	0.80	6.30	0.15	1.07	0.34	—	—	—
	15—22	11.13	73.43	4.88	19.67	0.11	0.60	0.90	5.45	0.57	1.69	0.16	—	—	—
	30—40	14.14	67.32	8.20	21.19	0.16	0.76	1.06	4.34	1.53	1.34	0.19	—	—	—
	80—85	6.49	65.30	5.78	22.04	0.09	0.90	1.50	4.32	—	—	—	—	—	—

分析者: 苏联科学院森林研究所森林土壤研究室, 林业部土壤分析室。

是由于潜育层 (A_g) 上面有泥炭层 (A_T) 的存在, 在土壤湿度很大的情况下, 将使 Fe_2O_3 、 P_2O_5 、 CaO 、 MgO 增大溶解度, 因为微生物分解有机物质时产生较多的 CO_2 , 使铁变成亚铁, 也可能变成重碳酸亚铁的化合物形态向下淋溶, 因此在潜育层中铁、磷、钙、镁也会有很大的损失。与此同时, Fe_2O_3 、 P_2O_5 、 CaO 、 MgO 在腐殖质淀积层中都有相对大量的聚积, 铁的聚积与这一层内含有的大量富里酸相结合有关, P_2O_5 在这里的聚积可能与 Fe_2O_3 的存在有关, 而 CaO 、 MgO 在这层的相对聚积也可能与 P_2O_5 的存在有关。

冷杉林下土壤 SiO_2/R_2O_3 分子率的数值如下:

泥炭层 (A_T) SiO_2/R_2O_3 分子率: 10.0 左右

潜育层 (A_g) SiO_2/R_2O_3 分子率: 15.0—30.0 左右

腐殖质铁淀积层 (B_1) SiO_2/R_2O_3 分子率: 2.0—5.0 左右

而亚热带高山森林泥炭潜育土中 $A_g:B$ 的 SiO_2/R_2O_3 分子率比值约为 6.0 左右。

从表 8 中还显示出, 在这些土壤的上层都发现有大量次生的 P_2O_5 、 CaO 、 MgO 的生物聚积, 其聚积现象比云杉林下的土壤还显著。

从表 8 活性 SiO_2 和 R_2O_3 的材料中可以看到, 活性铁在 A 层显著淋失, 而在 B 层 (30—40 厘米) 聚积。与此同时, 活性硅的含量在表层 10 厘米处显著地增加了。值得注意的是, 在这里活性铝相对地较稳定, 而在 A 层中活性铝的含量反而稍高。从表 8 中还可以看到, 活性铁的含量约占全量铁含量的 4.0—19.0%, 活性铝的含量约占全量铝的 6.0—9.0%, 而活性硅的含量只约占全量硅的千分之三到千分之五。铁的可溶性就成为该土壤特征性质之一, 而其数量决定于土壤中还原过程的程度和植物残体的组成及它们的分解条件。

从表 8 中冷杉林下土壤的机械组成可以看出, 土壤粘粒 (小于 0.001 毫米) 的含量很少, 一般为 5% 左右, 粘粒在土壤剖面中的移动也不很显著, 有时在灰白色的潜育层次中反略有增加的现象, 这说明在冷杉林下的土壤中并没有发生灰化现象。按物理粘粒的情况看, 亚热带高山棕色森林潜育土比亚热带高山森林泥炭潜育土要粘重些。

剖面 II-6 高山-冷杉林下的土壤, 所在地海拔较高 (3,800—4,000 米), 因此土壤风化作用相对地更减弱了, 以致土壤剖面中石砾含量很多 (表 9), 明显地表现出了土壤的粗犷性。

表 9 高山-冷杉林下土壤中的石砾含量

层次及深度(厘米)	石砾含量(%)
B 14—30	15
Be 30—60	40
C 60—82	90

值得注意的是, 冷杉林下土壤母质层中的土壤粘粒含量比土壤中的粘粒含量要高些。关于这些现象的原因, 可能是该母质层为以前亚热带气候条件下形成的“残留的古风化壳”, 也有可能由于“土内风化”所致, 这尚需要进一步地去研究证实。

2. 代换盐基总量, 酸度, 腐殖质, 全氮, 速效性磷、钾的含量 (表 10)

从表 10 冷杉林下亚热带高山森林土的一些化学分析材料来看, 亚热带高山棕色森林潜育土的盐基饱和度 (20% 左右) 要比亚热带高山森林潜育土 (5% 左右) 大一些。表现在酸度上也有较大的区别, 亚热带高山棕色森林潜育土 (水解酸度 20—30 毫克当量/100 克

表 10 冷杉林下亞熱帶高山森林土的代換鹽基总量, 酸度, 可溶性鋁, 腐殖質, 全氮, 速效性磷、鉀的含量

剖面号	层次及深度 (厘米)	代換鹽基总量 (毫克当量/ 100克土) Γ.卡賓法	水解酸度 (毫克当量/ 100克土) Γ.卡賓法	pH		可溶性鋁 (毫克/ 100克土) A. B. 沙 柯洛夫法	腐殖質 (%) И.В. 丘林法	全氮 (%) 凱氏法	C:N	速效性磷 (毫克/ 100克土) E.特魯奧奇法	速效性鉀 (毫克/ 100克土) Я.В.別以夫法
				H ₂ O	KCl						
Π-1	A ₀ 0—4	—	—	5.0	4.4	—	—	—	—	—	—
	A 4—16	3.4	27.9	4.6	4.0	—	11.5	—	—	12.0	8.7
	AB 16—44	5.5	20.1	5.0	4.2	—	8.2	—	—	24.0	20.0
	B 44—87	3.5	13.3	5.0	4.4	—	3.3	—	—	14.0	4.5
	C 87—100	16.6	3.4	6.0	5.4	—	—	—	—	—	—
Π-4	A _T 2—15	7.85	—	4.2	3.2	3.02	—	—	—	20.0	78.0
	A _g 15—29	0.6	8.3	4.0	3.2	1.30	1.59	0.074	12.5	6.0	9.0
	B ₁ 29—42	0.85	40.69	4.4	4.0	8.92	9.77	0.29	—	10.0	18.8
	B ₂ 42—54	1.00	24.92	4.6	4.4	5.47	5.13	0.15	—	10.0	9.0
	C 54—120	0.70	7.20	4.6	4.6	0.73	1.04	0.031	—	8.0	17.5

分析者: 林业部土壤分析室。

土, $pH_{H_2O}=4.5-5.0$, $pH_{KCl}=4.0-4.5$) 比亚热带高山森林泥炭潛育土(水解酸度30—40毫克当量/100克土, $pH_{H_2O}=4.0-4.5$, $pH_{KCl}=3.0-4.0$) 酸度要小一些。可溶性鋁在冷杉林下的土壤中含量不大, 一般都在10毫克/100克土以下。值得注意的是亞热带高山森林泥炭潛育土的代換鹽基总量特別小(1.0毫克当量/100克土以下)。

速效性磷、鉀在土壤上层含量很大(速效性磷含量为10—20毫克/100克土, 速效性鉀含量为20毫克/100克土左右, 而个别泥炭层速效性鉀达80毫克/100克土左右)。

正由于这里所造成的特殊的生物气候条件, 生长季节不长, 季节性的土壤湿度很大, 抑制了土壤好气性微生物的活动, 发生了植物殘体的嫌气分解而形成了某些有机酸(以富里酸为主)和亚鉄。在这样的生物气候条件下, 促进了大量有机物质的积累, 造成植物殘体分解作用很弱。因此, 冷杉林下的亞热带高山森林土聚积了較大量的腐殖物质和相当厚的腐殖质层, 甚至在100厘米深处还有1.5—2.0%左右的腐殖质含量。

冷杉林下的腐殖质組成見表 11。

表 11 冷杉林下亞熱帶高山森林泥炭潛育土的腐殖質組成(占全碳量的百分率)

剖面号	深度 (厘米)	全碳量 (%)	腐 殖 物 質 的 成 分 %					胡敏酸与富 里酸的比值
			苯乙醇提取的物质— 脂蜡物质	脱鈣时提取的物质— 在 1.0N Na ₂ SO ₄ 中的溶解物质	胡敏酸	富里酸	殘余物	
Π-5	0—5	32.36	12.0	2.2	12.7	14.1	56.0	0.89
杜鹃冷杉 林下的土 壤	5—10	4.38	9.6	2.3	10.4	28.6	45.0	0.36
	15—22	2.45	11.8	3.3	10.2	31.0	39.2	0.33
	30—40	2.18	5.5	2.8	8.7	45.4	31.6	0.19

分析者: 苏联科学院森林研究所森林土壤研究室。

从表 11 中可以看出, 冷杉林下土壤与上述其他林分下土壤不同的地方是其腐殖质組成中以富里酸占优势, 即在土壤中以富里酸化合物为主; 因为这里鉄具有很大的可溶性, 因此鉄与富里酸結合成稳定的鉄有机络合物, 能促使其往土壤下层移动, 这就是微团粒—凝块和腐殖质鉄淀积层形成的原因。在这里脂蜡物质型化合物同样是与鉄相結合, 这些

結合物的大量存在對膠凝微團粒凝塊也起很大的作用。

值得注意的是，胡敏酸與富里酸的比值與其他土壤（棕色土，暗色土，灰化土等）比較起來為最小，同時它們的可溶性與溶蝕性都比上述土壤為小。凝塊狀微結構的形成證明了該土壤的特殊性。同時腐殖質組成研究表明，在一定的生物氣候條件下有機物質的分解的性質及其與礦物部分的相互作用，原則上決定了土壤形成作用的屬性和程度，如在北方泰加林下這些相互作用就引導了粘土礦物的破壞和它們的產物往下層移動等；而在这里這些相互作用，伴隨著腐殖質鐵化合物可溶性的加強，發生了新礦物的合成。在这里起決定性因素的是在這樣的生物氣候條件下所造成的有機物質的分解狀況和鐵的可溶性。這些情況使 SiO_2 相對地在土壤上層聚積起來。

3. 土壤微形態學(微土壤學)的研究

為了更詳細地鑑定冷杉林下亞熱帶高山森林土的微形態構造和它們的粗粒部分的礦物組成，更進一步地利用土壤切片的方法在偏光顯微鏡下進行了研究。

土壤切片的偏光顯微鏡研究(切片描述)：

亞熱帶高山森林泥炭潛育土：剖面 1028，雲嶺山西坡，拔海高度 3,720 米，東坡 16° ，杜鵑蘚類冷杉林，地位級 V。

A_0 0—2 厘米：蘚類及冷杉等離落物地被物層。在切片中可以看到不同分解程度的植物細胞，有新鮮的保存有輸導束（維管束）構造的細胞，一般對偏光起作用；有變成褐色的細胞，對偏光不起作用，但有時還保存了自己的構造。在这里新鮮的植物細胞比已分解的植物細胞要多。在一些新鮮植物細胞里保存了很多植物性矽酸結晶。部分植物細胞被真菌菌絲所穿透。这里很少看到砂粒、粉粒和已腐殖化了的土壤小塊。結持力疏松。孔隙度很大。

A_T 2—5 厘米(圖 12)：泥炭層，結持力較上層稍緊。这里與上層不同的地方是大部分植物細胞已經失去了它原來的形狀，成為 0.20—0.02 毫米大小，我們稱之謂“棕色的小粒”。這些棕色小粒只有在森林復蓋下土壤中植物殘體分解的時候形成。它與黑鈣土中當植物殘體分解時形成的所謂“炭質的小粒”不同。在這些棕色小粒中具有 0.01 毫米大小的外部侵入的砂粒和粉粒的混合物。植物性矽酸結晶很少，它們多半是被溶蝕了。遇見有個別的海綿骨針。

A_g 5—8 厘米(圖 13, 14)：灰白帶淺棕色的潛育層，土壤結構很好，微團粒大小平均約 0.1—0.5 毫米，有一些較大的微團粒(達 1.0 毫米)已被分離成較小的微團粒。

這樣的土壤結構，我們稱之為“凝塊結構”，其團粒-凝塊的膠結物之一是粘土物質。到底是什麼物質促使土壤微結構成凝塊狀的形成還不清楚，看來，在該土壤中腐殖質物質（不是胡敏酸化合物的形式）對微結構的形成起了很大的作用。這樣的較好的微結構的存在對灰化土來講是不典型的。

粘土部分是拜來石，但在粘土礦物組成中有高嶺化-水雲母礦物。

土壤的反射光綫具有很弱的紅色的色調，而一些含有氧化鐵母岩的碎片具有很鮮艷的紅色。砂粉粒的大小不一致(0.3—0.005 毫米間)，其形狀呈菱形。礦物組成：石英，石英-絹雲母-綠泥石碎片；長石和其他的礦物很少。植物性矽酸結晶已被溶蝕，以致使它們的形狀與上層的不一樣。發現有雲母，其大小為 <0.005 毫米。

B₁ 8—19 厘米(图 15):該层土壤与上层土壤基本相同。土壤凝块微结构很好。这里有許多具有深紅色反射光的团粒-粉粒结构,其胶結物是粘土矿物。

B₂ 19—40 厘米:从结构上看該层土壤与上层不同,这里菱角形的微结构有很多已很清晰地分散成粉粒。

BC 40—68 厘米:土壤与上层一样,微团粒-粉粒结构,土壤的颜色較深,发现其中含鉄質較多。

C 40—68 和 68—114 厘米(图 16, 17):岩石的碎片,組成砂岩的顆粒大小不均匀(0.5—0.01 毫米)。砂粉粒的矿物組成:石英,絹云英岩碎片;长石及其他矿物較少。胶結物为富含鉄質化合物的粘土。

4. 粘粒的矿物組成

对冷杉林下亚热带高山森林土的粘粒部分(小于 0.001 毫米)应用了差热分析、X 射綫分析、电子显微鏡鉴定、粘粒的全量組成分析等方法进行了研究。

(1) 冷杉林下亚热带高山森林泥炭潛育土(剖面 II-4)粘粒部分的差热分析研究(图 18)

冷杉林下的土壤中(剖面 II-4),除了潛育层(A_g 15—29 厘米)以外,其他各层次中的差热曲綫呈現了很大的相似性。

由于样品中有机物质沒有除淨,因此在我們所做的差热曲綫上只呈現了从温度 20—400°C 間的热效应峯谷。

第一个吸热反应在温度 120—130° 間,是由吸湿水及松結合水的释放所引起。

第二个吸热反应在温度 310—320° 間,是由水分自二三氧化物矿物結晶格上释放出所致。这說明了二三氧化物矿物的存在。二三氧化物矿物沿剖面往下增多,在母質层中(C 层 54—120 厘米)含量最大。

土壤上层(A_g 15—29 厘米, B₁ 29—42 厘米)具有很高的亲水性,这与存在有机物质有关,而不是由于粘土矿物。

由于样品中存在有較多量的有机物质,致使在差热曲綫的高温区域部分解释上得不到滿意的結論。

(2) 冷杉林下亚热带高山森林泥炭潛育土(剖面 II-4)粘粒部分(小于 0.001 毫米)的电子显微鏡鉴定(图 19)

电子显微鏡下观察,按其形状与粒径的大小都很象拜来石、多水高岭石和高岭石等矿物。值得注意的是,在这里发现具有多水高岭石細长的棍状結晶,一般的讲,它往往是高岭石和拜来石的伴生矿物。即冷杉林下土壤粘粒部分的电子显微鏡照片显示了,在这些土壤中存在有拜来石、多水高岭石和高岭石等粘土矿物。

(3) 冷杉林下亚热带高山森林泥炭潛育土(剖面 II-4)粘粒部分(小于 0.001 毫米)的 X 射綫研究(表 12)

剖面 II-4 的 X 射綫譜(表 12)表明,在潛育层(A_g 15—29 厘米)的图谱中明显的存在着拜来石的譜綫。至于“拜来石”的名称問題,目前还有很多爭論,沒有最后确定。这矿物在低角度(14 Å)区域里概不反射,所有射綫譜都从 10 Å 开始,这也就証明了这里沒有蒙脫石的存在。母質层(C 54—120 厘米)的射綫譜性質,显著与潛育层(A_g 15—29 厘米)的 X

冷杉林下亚热带高山森林泥炭潜育土的微形态结构及粗粒部分矿物成分的偏光显微镜照片(剖面1028)



图12 植物细胞的分解

I 植物残体分解成的“棕色小粒” II 植物细胞,其内部对偏光起作用 III 细长的真菌菌丝 IV 孔隙
剖面1028, A_T2—5厘米,放大100倍,平行偏光镜。

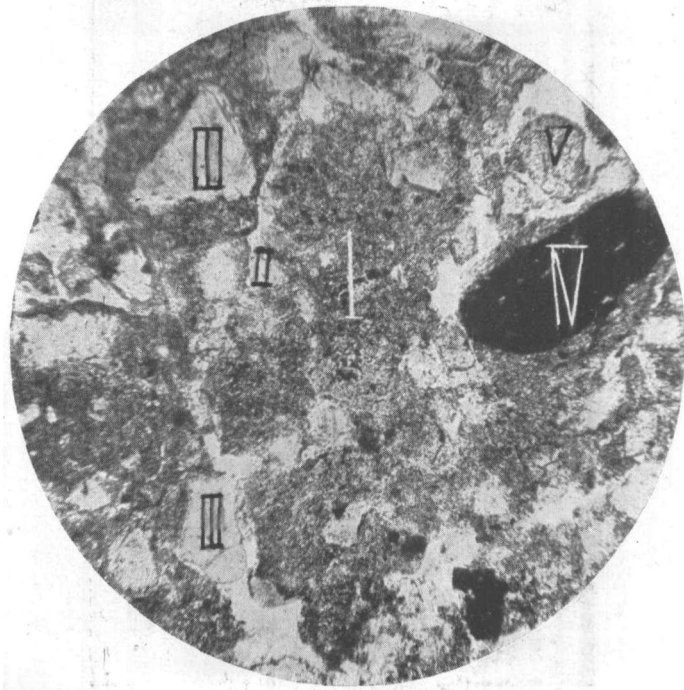


图13 土壤的微团粒结构

I 微团粒 II 微团粒间的孔隙 III 石英粒 IV 铁质化了的母岩碎片 V 石英-絹云母石的碎片
剖面1028, A_K5—8厘米,放大100倍,平行偏光镜。

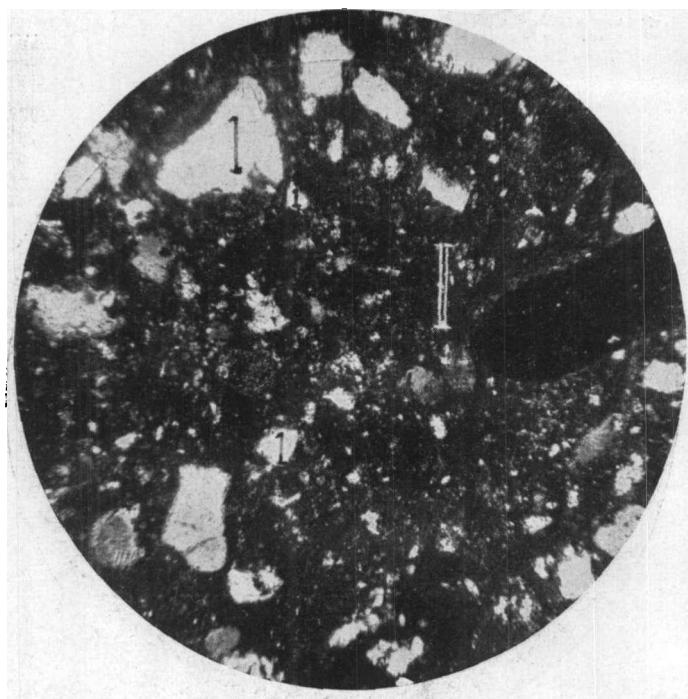


图 14 同上,正交偏光鏡
I 砂粉粒 II 粘土物质

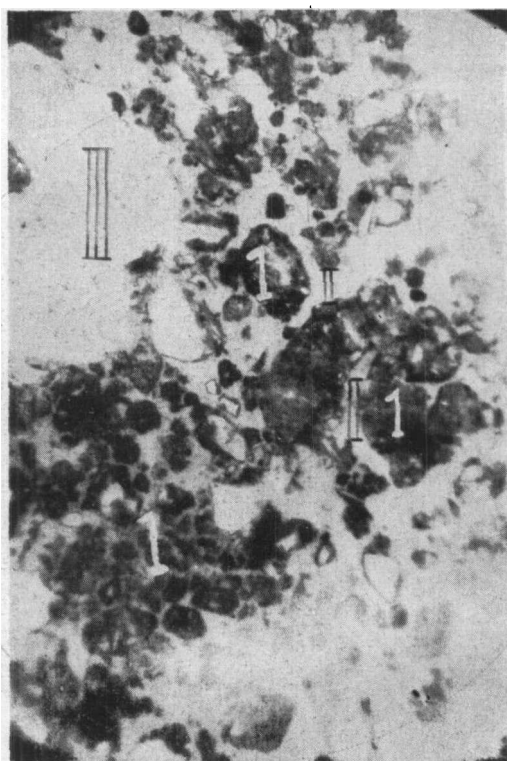


图 15 土壤的凝块状微结构
I 微团粒和粉粒 II 孔隙 III 石英粒
剖面 1028, B₁₈—19 厘米,放大 100 倍,平行偏光鏡。

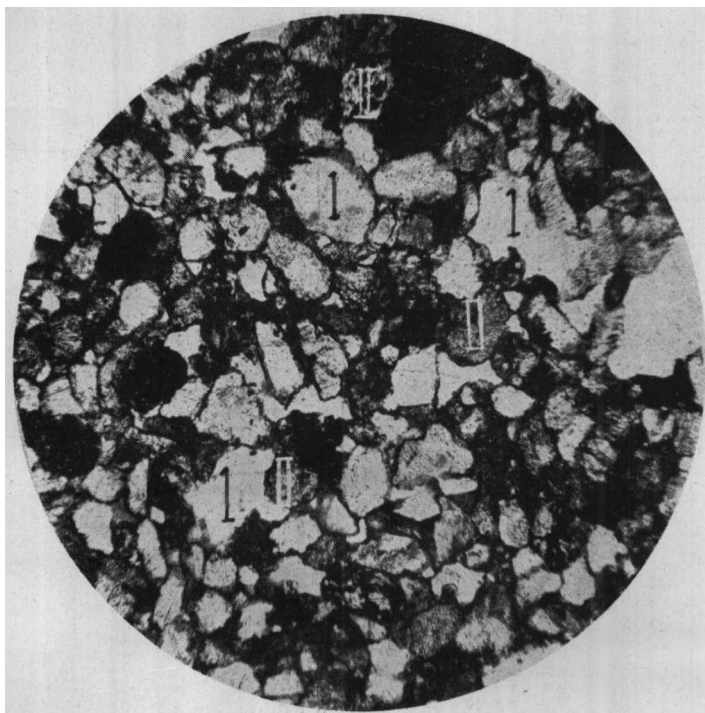


图 16 不同大小颗粒组成的砂岩
I 石英 II 絹云英岩碎片
剖面 1028, C 68—114 厘米, 放大 100 倍, 平行偏光鏡

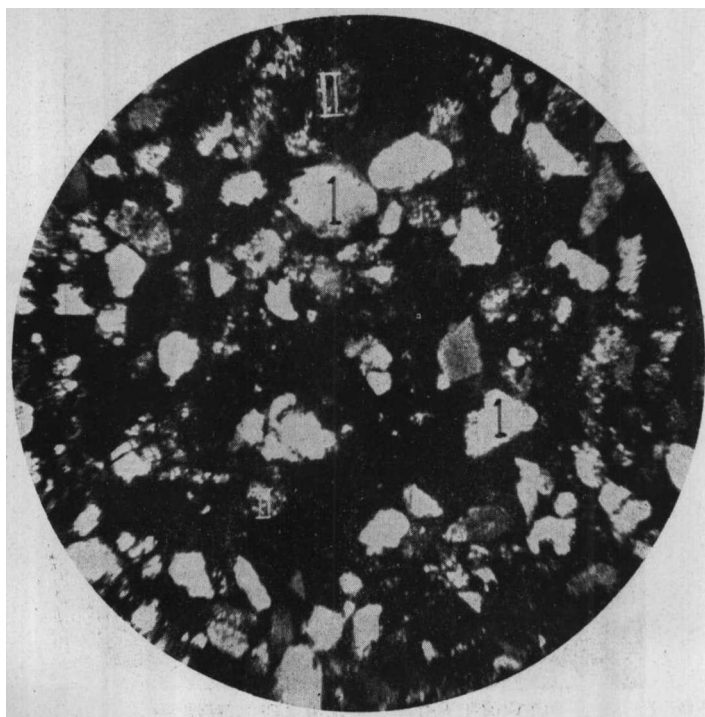


图 17 同上, 正交偏光鏡

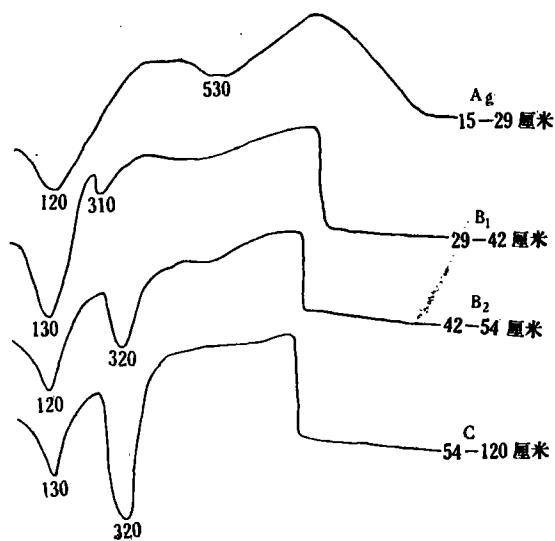


图 18 冷杉林下亚热带高山森林泥炭潜育土粘粒部分
(小于 0.001 毫米)的差热曲线(剖面 II-4)

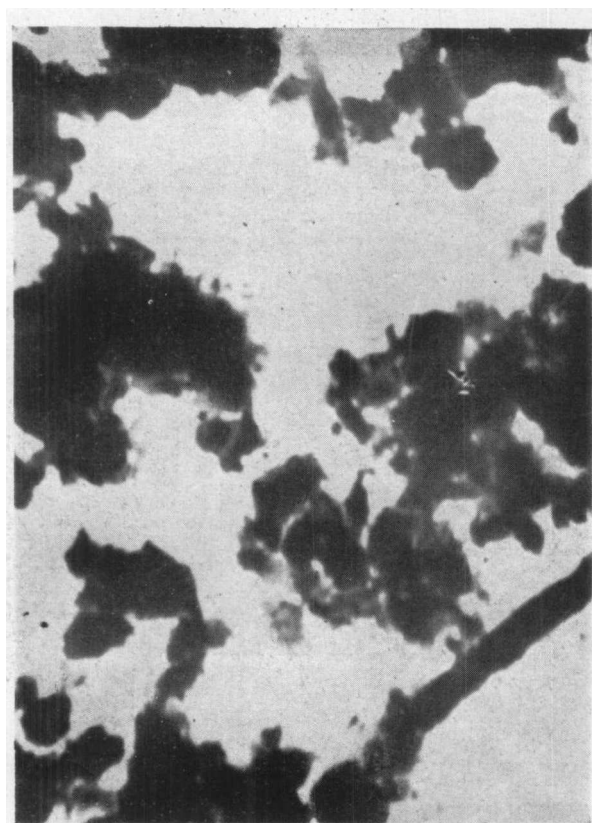


图 19 冷杉林下亚热带高山森林泥炭潜育土
(剖面 II-4)粘粒部分(小于 0.001 毫米)的电子显微镜照片剖面 II-4, B₁29—42 厘米,放大 9,000 倍

射线谱不同,在这一层里占优势的是二三氧化物——三水铝石和带有少量针铁矿的混合物。这里也同样说明了该母质层可能是“残留古风化壳”或由“土内风化作用”形成。

(4) 冷杉林下亚热带高山森林土(剖面 II-5)粘粒部分(小于 0.001 毫米)的全量化学组成分析研究

从杜鹃冷杉林下土壤(剖面 II-5)粘粒部分全量化学成分(表 13)来看, $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ 的分子率=1.83—2.54。这说明在这些粘粒中的二三氧化物和二氧化硅在土壤剖面层次中移动都不明显。特别是 SiO_2 和 Al_2O_3 在土壤层次(A 层, B 层)中分布较均匀。值得注意的是,在这些土壤粘粒部分中 Fe_2O_3 在 A 层及 B 层中淋失淀积现象很显著,而 Al_2O_3 则较稳定,即在 A 层及 B 层中较均匀地分布着。也就是说,铁的淋失比铝快,这是沼泽类型土壤特征性质之一。

另外,从表 13 还可以看到 Al_2O_3 的含量在全剖面中都较高(27.0—31.0%左右),这也说明了该土壤中有二三氧化物矿物的存在。 MgO 的含量约为 CaO 含量的两倍。 P_2O_5 在 B 层(30—40 厘米)中稍有聚积,这可能与淋溶下来的 Fe_2O_3 有关。

总起来说,所有差热分析、电子显微照片、X 射线谱数据、粘粒的全量化学成分研究材料表明了冷杉林下亚热带高山森林土(剖面 II-4,剖面 II-5)的粘土矿物组成是拜来石、三水铝石、高岭石和水化云母矿物等。在潜育层(A_g)中主要聚积着某些数量的“拜来石”。腐殖质淀积层(B_1)中为多水高岭石和高岭石。而母质层(C)中聚积有很多的三水铝石和少量针铁矿,这些三水铝石等的

表 12 冷杉林下亚热带高山森林泥炭潜育土粘粒部分(小于 0.001 毫米)的 X 射线数据(剖面 II-4)

A_g 15—29 厘米		C54—120 厘米	
$d(\text{\AA})$	强度	$d(\text{\AA})$	强度
12.15	8	10.36	9
10.67		10.18	
4.26	3	5.20	2
3.30	9	4.99	9
2.54	9	4.26	9
2.12	3	3.29	8
1.97	3	3.18	2
1.81	4	2.67	5
1.64	4	2.57	5
1.53	6	2.43	8
1.50	7	2.37	8
1.37	6	2.23	2
1.29	5	2.16	2
1.19	6	2.03	8
1.17	6	1.99	8
		1.92	6
		1.87	2
		1.79	7
		1.74	7
		1.68	8
		1.64	2
		1.49	5
		1.48	5
		1.45	8
		1.43	3
		1.40	6
		1.39	
		1.30	3
		1.24	3
		1.20	3
		1.18	3
		1.13	3
		1.11	3
		1.08	2

表 13 冷杉林下亚热带高山森林土(剖面 II-5)粘粒部分(小于 0.001 毫米)的全量化学成分(占焙烧土的百分率)

剖面号	深度(厘米)	烧失量	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	CaO (%)	MgO (%)	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 分子率
II-5	5—15	19.01	49.65	26.73	10.32	0.46	0.82	1.39	2.54
杜鹃冷杉林下的土壤	15—22	11.22	49.32	28.28	9.33	0.31	0.69	1.69	2.41
	30—40	23.48	45.88	30.86	19.04	0.66	0.62	1.49	1.83

分析者: 苏联科学院森林研究所森林土壤研究室。

形成,可能是以前在亚热带湿热气候条件下所形成而今残留下来的“古风化壳”,或可能是由“土内风化”所致。

結 語

(一) 青藏高原东南部边缘地区森林土壤的研究,我們除了收集了大量的野外材料外,还进行了大量的土壤机械分析、化学分析、全量化学组成分析、腐殖物质及腐殖质组成分析等,除此以外,并对土壤的微形态结构及粗粒部分的矿物组成进行了微土壤学分析(土壤切片的偏光显微镜研究)及对土壤粘粒部分(小于 0.001 毫米的颗粒)应用了差热分析、X 射线分析、电子显微镜鉴定和粘粒的全量化学分析等方法进行了研究。

通过上述这些综合研究所得到的大量数据,使我們有可能对青藏高原东南部边缘地区森林土壤的形成本质及其垂直分布规律进行进一步的深入的探讨,揭示和初步确定了该地区主要的和新的森林土壤类型,以及它们的详细的理化性质、有机物质和矿物性质及其垂直分布的规律性,并给予它们以森林生长条件的鉴定。

(二) 对青藏高原东南部边缘地区森林土壤性质及规律性综合研究的一系列数据,足够使我們相信,在云南松、云杉、冷杉林下的土壤形成与其生物气候因子有着密切的关系。特别是关于云杉、冷杉林下土壤形成的性质特征,与我們以前认为是“棕色森林土”和“灰化土”的看法有很大的距离。由于存在着前述的一系列的特殊性质,使我們不得不把这种土壤划成一新的土壤类型——具有高度腐殖质聚积作用的“亚热带高山森林土”。在云杉林下土壤中的特征化合物——胡敏酸铁,和在冷杉林下土壤中的特征化合物——富里酸铁,可以作为进一步划分云杉、冷杉林下土壤亚类的依据。

总起来说,云南松、云杉、冷杉林下发育的土类为:山地森林红壤和亚热带高山森林土两大类。其亚类从海拔低处往海拔高处(海拔 1,900—4,000 米)排列的次序为:

山地森林典型红壤→山地森林灰化红壤→亚热带高山棕色森林土→亚热带高山暗棕色森林土→亚热带高山暗棕色森林潜育土→亚热带高山森林泥炭潜育化土→亚热带高山森林泥炭潜育土→亚热带高山草甸-森林泥炭潜育土

(三) 青藏高原东南部边缘地区冷杉(*Abies georgei* 等)林下的土壤在发生性质上尚存在一些問題需要进一步探索研究。

1. 冷杉林下土壤中灰白色层次的形成,由于灰化作用抑潜育作用?

经过我們一系列的研究,初步的结论是:“冷杉林下土壤中灰白色层次的形成是由于潜育作用所致,不是由于灰化作用”。因为冷杉林下的土壤由于周期性过湿,使铁还原成亚铁而遭到淋失,但铝在土壤剖面中,不管是活性铝、土壤中的全量铝以及粘粒中的全量铝都相对地较稳定。铁的可溶性比铝大,淋失得也比铝强烈。这些铁的淋失现象与粘土矿物的破坏无关。而值得注意的是,在灰白色层次中具有很好的凝块-微团粒结构。这些都不是灰化作用的特征,而是潜育作用的特征,即我們所谓“假灰化”的特征。

2. 冷杉林下土壤中潜育层下暗褐色特殊层次的形成,是腐殖质淀积层抑埋藏泥炭层?

冷杉林下土壤中,特别是强度潜育的土壤中,其灰白色的潜育层下面有一层暗褐色含有机物质特多的层次,层内有机物质的含量有时几乎与其表层的泥炭层相等,在 pH 和水解酸度上也几乎与其上层的泥炭层相等;在野外剖面位置的地形因子等观察资料上,该层

有时也表现出一定的“埋藏泥炭层”的特性。但从我们的许多材料的综合分析中可以看出,冷杉林下季节性过度湿润而产生的嫌气条件,导致了大量亚铁的形成;同时,亚铁积极地与水溶性有机物质相作用,产生了可溶性的稳定的铁有机络合物,能够促使其向下移动,这样就在灰白色的潜育层下面形成了明显的锈褐色的腐殖质铁淀积层,该层表现出来的程度与土壤中还原过程的程度和植物残体的组成及它们的分解条件有关。由于这些,我们初步认为该层不全是由于埋藏泥炭层形成,而大部分还是由于腐殖质铁淀积作用而形成。

3. 冷杉林下土壤下面母质层的形成,是残留“古风化壳”抑或由于“土内风化”?

冷杉林下母质层中含有大量的二三氧化物矿物——三水铝石、针铁矿。这些矿物主要是在湿热的气候条件下形成的,与目前冷杉林下的植物气候条件很不相适应,因此有可能这些母质是前期亚热带湿热气候条件下形成而残留下来的“古风化壳”;或者是由于其上面两层有机物质层(腐殖质铁淀积层;泥炭层)的阻隔,散热不易,导致其进行土内风化作用所致。这是值得进一步研究的问题,目前尚未弄清这一点。

(四) 总括青藏高原东南部边缘地区的土壤和森林间复杂的相互关系和相互影响时可以看出,这些复杂的关系中存在着一定的规律性(表 1, 图 3)。

云南松、云杉、冷杉天然林下土壤的特性,反映出对生物气候条件有错综复杂的关系;了解并掌握这些特性,即有关森林在改变土壤性质方面的作用和土壤条件对森林生长和生产率影响的材料(表 14, 15, 16)以后,就能更好地订出有科学根据的措施来改进森林的生长和提高森林的生产率,并对森林生长条件作出鉴定。

1. 云南松林下的森林生长条件(表 14)认为是良好的,对森林生长具有足够良好的水热条件的保证;反映在林木生产率上为 I-II(I^a)地位级。在这里山地森林经营的主要问题是要防止“山地土壤侵蚀”。防止山地土壤侵蚀的最重要的措施是要做好护林,预防森林火灾,划定并经营好水源涵养林,合理地进行采伐(择伐或渐伐),加快更新速度,适当地调节农业土地利用面积。这些措施可以降低和抑止山地土壤的侵蚀过程,同时相应地提高了土壤肥力,因而也增加森林生产率。

2. 云杉林下的森林生长条件(表 15)也认为是满意的,反映在林木生产率上为 II-III(I)地位级。在这里山地森林经营的主要问题也是防止“山地土壤侵蚀”。因此也必须进行一系列的森林经营措施——护林,预防森林火灾,划定并经营好水源涵养林,合理地进行采伐(择伐或渐伐),加快更新速度,禁止过度放牧和适当地调节农牧土地利用面积,这样可以防止土壤侵蚀,提高森林生产率。

3. 冷杉林下的森林生长条件(表 16)一般认为是不够良好的,周期性的土壤水分过剩和发展着的泥炭潜育作用对森林生长有很大的妨碍,反映在林木生产率上为 III-IV(V)地位级。在这里山地森林经营的主要问题是与过湿的土壤水分作斗争。可以采用适当地择伐,降低森林中空气的相对湿度,提高土壤温度,增加土壤表面蒸发,这样就可抑止泥炭潜育层的发展和促进有机物质的分解,相应地提高土壤肥力,增加森林生产率。除此以外,还必须划定并经营好水源涵养林,适当注意防止土壤侵蚀及过度放牧。

在冷杉林区阳坡草地恢复森林的问题,主要是土壤水分条件的问题,因此在造林坑中加适量的泥炭,改善其水分对幼树生长的供应情况,可以提高幼树的成活率。

表 14 云南松林区土壤地形林型相互关系规律性一覽表

土 壤 名 称	土 壤 性 质		地 形	林 型 (疏 密 度)	林 木 生 产 率	
	土壤厚度 (厘米)	紧密度			地位级	蓄积量 米 ³ /公顷
在鉄质砂岩母质上发育的中等土层壤土质的亚热带山地森林典型紅壤	60—80	較紧	阴向陡坡和中等坡的中部或下部, 海拔高度 2,100—2,400 米	赤楊-云南松林(0.5—0.7)	Ia(I)	426
在紫色砂页岩母质上发育的中等土层沙壤土(輕壤土)的亚热带山地森林典型紅壤	45—70	較紧	阴向或半阴向的中等坡度的中下部, 海拔高度 2,300—2,600 米	紫色砂岩上发育的中等土层沙壤土(輕壤土)上的云南松林(0.5—0.7)	I—I	—
在砂岩母质上发育的中等土层的壤土质的亚热带山地森林典型紅壤或山地森林弱灰化紅壤	40—70	較紧	阴向的中等坡度和陡坡的中下部, 海拔 2,600—2,900 米	灌木-云南松林	I—I	470
在石灰岩(紫色砂页岩)母质上发育的中等土层壤土质的亚热带山地森林弱灰化紅壤	40—70	較紧	各个坡向的緩坡(中等坡度的)的上中部, 海拔 2,800—3,000 米	高山-云南松林(0.6)	II	500
在砂岩母质上发育的中等土层壤土质的亚热带山地森林弱灰化紅壤	40—70	較紧	阴向緩坡的中下部, 海拔高度 1,900—2,200 米	丘陵地形中等土层壤土上的云南松林(0.5—0.6)	II	300
在鉄质砂岩母质上发育的中等土层輕壤土(沙壤土)质的亚热带山地森林强灰化紅壤	40—60	較紧	各个坡向的中等坡度和緩坡上部, 海拔高度 2,300—2,800 米	灰化紅壤上的云南松林(0.5—0.6)	II—III	—
在砂岩母质上发育的薄土层的壤土质的亚热带山地森林弱灰化紅壤	<40	紧密	阴向中等坡度和緩坡(緩坡)的上中部, 海拔高度 2,000—2,200 米	丘陵地形薄层壤土上的云南松林	III	300
在砂岩母质上发育的薄土层的壤土质的亚热带山地森林弱灰化紅壤	30—50 (30—40)	紧密	各个坡向的緩坡和中等坡度的上中部, 海拔高度 2,600—2,800 米	薄土层壤土上的云南松林(0.6)	III	300
在鉄质砂岩母质上发育的砂砾土质的亚热带山地森林紅壤型的石质土	<30	紧密	山脊上陡坡及中等坡度, 海拔高度 2,500—3,000 米	分水岭山脊薄层石质土上的云南松林	IV—V	—
在坡积母质上发育的壤土质的亚热带山地森林弱灰化黃壤	70—80	較紧	半阴坡的中下部, 海拔高度 1,900—2,600 米	常綠闊叶混交林(0.4—0.7)	IV	—

注: 林木調查材料由林业部綜合調查队測得。

表 15 云杉林区土壤地形林型相互关系规律性一覽表

土 壤 名 称	土层厚度 (厘米)	地 形	林 型 (疏 密 度)	林 木 生 产 率	
				地位级	蓄积量米 ³ /公顷
在石灰角砾重壤土坡积物上发育的亚热带高山棕色森林土	90—100	北坡, 海拔高度为 3,200—3,300 米	溪旁云杉林(0.8—0.9) <i>Piceetum Ionitiale</i>	Ia—I ⁶	大于1000
在石灰角砾壤土坡积物上发育的亚热带高山暗棕色森林土	60—70	北坡, 海拔高度为 3,200—3,350 米	小竹子云杉林(0.8) <i>Piceetum sinuandinariorum</i>	I—Ia	900
在石灰角砾壤土坡积物上发育的亚热带高山暗棕色森林土	60—70	北坡, 海拔高度为 3,100—3,450 米	大竹子云杉林(1.0) <i>Piceetum sinuandinariorum</i>	II—III(I)	800
在石灰角砾壤土原积物上发育的亚热带高山暗棕色森林土	70—80	北坡, 海拔高度为 3,300—3,500 (3,050—3,300)米	灌木云杉林(0.6—0.9) <i>Piceetum fruticosum</i>	II—III	700
在砂岩坡积物上发育的带有灰化現象的亚热带高山棕色森林土	50—60	南坡和西南坡, 海拔高度 3,000—3,300 米	高山松林(0.8) <i>Pinus densata</i>	IV—V	—
在石灰角砾重壤土坡积物上发育的亚热带高山棕色森林土	50—60	南坡和西南坡, 海拔高度 3,100—3,400 (少有 3,400—3,600)米	高山櫟林(0.7) <i>Quercus semicarpifolia</i>	—	—

注: 林木調查材料由林业部綜合調查队測得。

表 16 冷杉林区土壤地形类型相互关系规律性一览表

土 壤 名 称	土 壤 性 质				地 形	林 型 (疏 密 度)	林 木 生 产 率		
	土层厚度 (厘米)	pH		湿 度			潜育程度	地位级	蓄积量 米 ³ /公顷
		H ₂ O	KCl						
在石坎角砾壤土坡积物上发育的亚热带高山生草暗棕色森林潜育土	80—90	4.5—5.0	4.0—4.5	湿	微弱	阳坡中部和上部,坡度25—30°,海拔高度3,650—3,800米	草类冷杉林(0.8) <i>Abietum kerbosum</i>	II—III	—
在石坎角砾壤土坡积物上发育的亚热带高山暗棕色森林潜育土	70—80	4.5—5.0	4.0—4.5	湿	微弱	阴向坡中部,少数分布在半阳坡,陡坡或中等坡度,海拔高度3,600—3,750米	鳞丝蕨冷杉林(0.9) <i>Abietum actinohmidosum</i>	II—III	900
在石坎角砾壤土坡积物上发育的亚热带高山森林泥炭潜育化土	60—70	4.0—4.5	3.5—4.2	重湿	弱	阴向坡或半阴向坡的中部,缓坡或中等坡度,有时为陡坡下部,海拔高度3,500—3,600(少数3,750)米	竹子冷杉林(0.7—0.9) <i>Abietum sinarundinariuosum</i>	III—IV	—
在石坎角砾壤土坡积物上发育的亚热带高山森林泥炭潜育化土	60—70	4.0—4.5	3.5—4.2	重湿	弱	阴向坡的中部或上部,亦在在阳坡的陡坡或中等坡度,海拔高度3,700—3,800米	潜育化土壤上的蕨类冷杉林(0.8—0.9)	III—IV	700
在石坎角砾壤土坡积物上发育的亚热带高山森林泥炭潜育土	50—60	3.5—4.5	3.0—4.0	极度湿	中—强	阴向坡中上部,坡度在15—30°间,海拔高度3,650—3,800米	乔木状杜鹃—冷杉林(0.7—0.9) <i>Abietum Rhododendrosodendroides</i>	III—IV	600
在石坎角砾壤土坡积物上发育的亚热带高山森林泥炭潜育土	50—60	3.5—4.5	3.0—4.0	极度湿	中—强	阴向坡或阳向坡上部和中部,陡坡或中等坡度,海拔高度3,700—3,800米	潜育土壤上的蕨类冷杉林(0.7—0.8)	IV—V	600
在石坎角砾壤土坡积物上发育的亚热带高山森林泥炭潜育土	50—60	3.5—4.5	3.0—4.0	极度湿	中—强	阳坡上部或海拔较低地的山坡顶部,陡坡,海拔高度3,700—3,800米(少数有3,900米)	杜鹃蕨类冷杉林(0.7—0.9)	V—(v _a)	500
在石坎角砾壤土原积物上发育的亚热带高山草甸森林泥炭潜育土	45—55	—	—	极度湿	弱—中	山顶山脊,海拔高度3,800—4,000米	高山冷杉林(0.7—0.9) <i>Abietum altimontiosum</i>	IV—V	—
在石坎角砾壤土原积物上发育的亚热带高山草甸森林泥炭潜育土	45—55	—	—	极度湿	中—强	山顶和山脊或阳坡上部,海拔高度3,800—4,000米	高山杜鹃—冷杉林(0.7) <i>Abietum Rhododendros-altimontiosum</i>	V—(v _b)	400

注: 林木调查材料由林业部综合调查队测得。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院自然区划工作委员会: 中国土壤区划. 科学出版社, 1959.
- [2] 李庆远、张效年: 中国红壤的化学性质. 土壤学报, 5 卷 1 期, 1957.
- [3] 林业部調查設計局森林綜合調查队: 云南西北部四川木里县土壤調查報告. 云南西北部四川木里县林型調查总结報告. 1956.
- [4] 张效年、李庆远: 华南土壤的粘土矿物組成. 土壤学报, 6 卷 3 期, 1958.
- [5] Антипов-Кратаев И. Н.: О бурых лесных почвах и коричневых лесных почвах. «Почвоведение», № 12, 1947.
- [6] Викулова М. Ф.: Электронномикроскопическое исследование глин. 1956.
- [7] Герасимов И. П.: Главные генетические типы почв Китая и их географическое распространение. «Почвоведение», № 1, 1958.
- [8] Горбунов Н. И.: Минералогический состав красноземов. «Доклад на V междунар. конгрессе почвоведов», 1954.
- [9] Горбунов Н. И., Цюрупа И. Г., Шуричина Е. А.: Рентгенограммы, термограммы и кривые обезвоживания минералов, встречающихся в почвах и глинах. 1952.
- [10] Дараселия М. К.: Красноземные почвы СССР и их использование под субтропические культуры. «Доклад на V Междунар. конгрессе почвоведов». 1954.
- [11] Зонн С. В.: Влияние леса на почвы. 1954.
- [12] Зонн С. В.: Некоторые вопросы развития почв на красноцветной коре выветривания в Грузии и южном Китае. «Известие АН СССР, серия биологическая». № 5, 1958.
- [13] Зонн С. В. и Ли Чен-квей: Некоторые вопросы генезиса и классификации тропических почв Китая. «Почвоведение». № 9, 1958.
- [14] Зонн С. В.: О почвах восточной части Тибета и закономерностях их распределения. «Почвоведение». № 6, 1959.
- [15] Зонн С. В.: О некоторых закономерностях формирования и вертикально-зонального распределения почв в тропических и субтропических областях юго-западного Китая. «Почвоведение», № 9, 1959.
- [16] Зонн С. В. При участии феофаровой И. И.: О разнообразии процессов почвообразования под темнохвойными лесами и о новом типе почв под ними. 1960.
- [17] Ковда В. А.: Очерки природы и почвы Китая. 1959.
- [18] Сабашвили М. Н.: Субтропические красноземы СССР. «Доклад на V Междунар. конгрессе почвоведов», 1954.
- [19] Сабашвили И. Ф.: Подвижность железа и алюминия в красноземных почвах. «Труды грузинского с-х. ин-та им. Л. П. Берия», Т. XXX, 1948.
- [20] Седлецкий И. Д.: Коллоидно-дисперсная минералогия. 1943.

ГОРНО-ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИБЕТСКОГО НАГОРЬЯ

Чжан Вань-жу

(Институт лесного хозяйства Академии лесных наук Китая)

(Резюме)

Исследованная территория находится между $25^{\circ}30'$ и $28^{\circ}30'$ северной широты и $99^{\circ}30'$ и $102^{\circ}30'$ восточной долготы.

Горно-лесные почвы юго-восточной части Тибетского нагорья до 1955 года не изучались, только в 1956 году профессор Ма Юнь-чжи на основании наших материалов в докладе на VI. Международном конгрессе почвоведов (General principles of geographical distribution of Chinese soils. P. 13, Peking, China, August, 1956) дал схему вертикального зонального распределения почв.

В 1955—1956 гг. нами были проведены полевые исследования и аналитическая обработка собранных образцов. В 1958—1960 гг. автором проведены минералогические анализы коллоидов (термический, рентгенографический и электронномикроскопический анализы) и микроморфологический анализ почвы в Институте леса АН СССР. Так как раньше материалы анализов не давали ясного представления о генезисе почв, то для уточнения типов нами в 1958—1960 гг. был проведен ряд дополнительных анализов. Результаты этих анализов позволили вскрыть некоторые почвенные свойства этих почв и пересмотреть наши взгляды на генезис, высказанные в отчете Министерства лесного хозяйства в 1956 г.

Наши исследования позволили выделить основные и новые типы лесных почв (горно-лесные красноземы под сосновыми и особый тип—высокогорно-лесных субтропических, с высокой аккумуляцией гумусовых веществ в виде гуматов железа под еловыми и Фульватов железа под пихтовыми), развивающихся в этом районе. Их органические, химические, механические, минералогические свойства, закономерность вертикального зонального распределения и дать характеристику лесорастительных свойств почв.

Проведенные исследования показали, что лесные почвы юго-восточной части Тибетского нагорья имеют резко выраженную зональность.

В горных условиях влажного субтропического климата, влажного умеренно-теплого климата, влажного умеренно-холодного климата исследованных районов соответственно широко развиваются горно-лесные красноземы под сосновыми; высокогорно-лесные субтропические почвы под еловыми и пихтовыми.

В развитии лесной растительности большая роль принадлежит почвам. Породный состав леса и его производительность в многом зависят именно от почвенных условий (таб. 1)

Статья выполнялась под руководством научного руководителя профессора-доктора сельскохозяйственных наук С. В. Зонна.

Таблица 1. Взаимосвязь био-климатических факторов и образование вертикального зонального распределения лесных почв юго-восточной части Тибетского нагорья

леса	климат	почва		производительность леса	
		тип	подтип	бонитет.	запас $m^3/га$
Зона сосновых лесов (<i>Pinus yunnanensis</i>) Высота 1500—3000 м. н.у.м.	Горно-лесный влажный субтропический	субтропический горно-лесный краснозем	① Горно-лесный типичный краснозем. ② Горно-лесный подзолистый краснозем	I—II(I ^a)	500
Зона еловых лесов (<i>Picea likiangensis</i>) Высота 3000—3600 м. н.у.м.	Высоко-горно-лесный влажный умеренный	Субтропическая высоко-горно-лесная почва (Гумат железа)	① Субтропическая бурая высоко-горно-лесная почва ② Субтропическая темнобурая высокогорно-лесная почва	II—III(I)	800
Зона пихтовых лесов (<i>Abies georgei</i>) Высота 3600—4000 м. н.у.м.	Высоко-горно-лесный влажный умеренно-холодный	Субтропическая высоко-горно-лесная почва (фульват железа)	① Субтропическая темнобурая высокогорно-лесная глееватая почва ② Субтропическая высоко-горно-лесная торфянисто-глеевая почва ③ Субтропическая высоко-горно-луговая торфянисто-глеевая почва	III—IV(V)	600

Таким образом, систематическое распределение исследованных почв по возрастанию абсолютной высот может представить в виде следующей схемы.

Горно-лесный типичный краснозем → горно-лесный подзолистый краснозем → субтропическая бурая высоко-горнолесная почва → субтропическая темно-бурая высоко-горнолесная почва → субтропическая темно-бурая высоко-горнолесная глееватая почва → субтропическая высоко-горнолесная торфянисто-глеевая почва → субтропическая высоко-горно-лугово-лесная торфянисто-глеевая почва.

Такое чередование вертикальных почвенных зон соответствует смене климатических условий при движении снизу вверх, причем границы лесной растительности и почв на южных склонах проходят выше, чем на северных склонах, особенно верхняя граница лесов в исследованных районах (на южных склонах около 4000 м н.у.м., а на северных склонах около 3900 м н.у.м.).