

# 哀牢山北段土壤腐殖质组成的垂直分布和腐殖质特性的研究\*

徐跃 张世聪

(中国科学院昆明生态研究所)

**Vertical Distribution of Soil Humus Composition and Its Properties in the North Part of Ailao Mountain.** Xu Yue, Zhang Shicong (*Institute of Ecology, Academia Sinica, Kunming*): *Journal of Ecology*, 8(2), 1989, pp. 5—9.

The natural reserve of Ailao Mountain is located in the west-central part of Yunnan province. It is typically characterized by southern subtropical mountains. The vertical distribution of different soils is very clear. Analyses of soil samples indicate that the contents of soil organic matter and humic acid and the ratio of HA/FA are positively correlated with the altitude, but fulvic acid is in negative correlation.

**key words:** humus composition, Ailao mountain, vertical distribution.

哀牢山是横断山脉的分支之一,它由西北到东南贯穿云南省,一直延伸到越南境内。调查区域在云南省景东县和楚雄县的交界地区,位于哀牢山北段,属于哀牢山自然保护区。地理位置是北纬 $24^{\circ}32'$ ,东经 $101^{\circ}01'$ 。

哀牢山自然保护区是中国科学院昆明生态研究所的森林生态系统研究定位站所在地。这里有大片常绿阔叶林和针叶林,树木种类繁多,生物气候的土壤分带明显,并具有典型南亚热带山地特征。一些学者在此做了大量的研究工作,然而对土壤腐殖质组成的生态分布方面却很少有人做过。本文研究了哀牢山东、西坡不同土壤类型的腐殖质组成与海拔的相关关系和相关系数,并用组平均模糊聚类分析方法,经计算机处理后,根据土壤腐殖质的特性,对各种土壤进行了比较,以便确定各土类之间的本质联系。这还是一种较新的尝试。

## 一、生态环境条件和研究方法

哀牢山的东、西两侧由于地貌特征和气候条件不尽相同,从而造成土壤类型和植被类型<sup>1)</sup>的分布有较大区别。受印度洋西南季风影

响,这里1年中明显地分为干季和雨季。6—10月为雨季,雨量充沛。11月至次年5月为干季,很少降雨,气候干燥。偶然受冷空气的影响,时有降雪。从山麓到山顶,垂直高差达1400m以上。随着海拔的增加,可以分为以下几个气候带<sup>2)</sup>。

1500m以下为南亚热带半湿润季风气候,年均温 $>17.0^{\circ}\text{C}$ , $10^{\circ}\text{C}$ 以上积温大于 $5700^{\circ}\text{C}$ ,年均降雨量为1102.8mm。

1500—2100m为中亚热带湿润季风气候, $10^{\circ}\text{C}$ 以上积温为 $5700—4200^{\circ}\text{C}$ ,年均温 $13.5—17.0^{\circ}\text{C}$ 。

2100—2600m为北亚热带潮湿季风气候,年均温 $10.5—13.5^{\circ}\text{C}$ , $10^{\circ}\text{C}$ 以上积温为 $4200—3000^{\circ}\text{C}$ ,年均降雨量达1840.9mm。

\* 张一平同志参加了部分计算工作,特此致谢。

1) 李宏文:哀牢山徐家坝地区的自然环境及植被的生态特点,云南哀牢山森林生态系统研究论文集,68—91,1983。

2) 张克映:关于哀牢山山地植被-气候带划分问题,云南哀牢山森林生态系统研究论文集,19—27,1983。

作者简介:徐跃,男,30岁,助理研究员,主要从事土壤化学和环境化学方面的研究。曾发表论文6篇,并取得一项发明专利。

2 600m以上为暖温带气候类型, 年均温低于10.5℃, 10℃以上积温小于3 000℃, 这里仅是一些孤立的山峰, 具有风大、雾大、气温低的特点。

我们在哀牢山的東西两坡垂直带上按不同植被、不同土壤类型、不同海拔高度的自然植被下分别采样, 各样地的自然条件列于表1。土壤腐殖质的分组用科诺娃法, 腐殖质组成

表 1 各样地的自然条件  
Tab.1 Natural condition of different sampling plots

坡向 Slope direction	剖面号 Profile No.	采集地点 Sampling locality	海拔 Elevation (m)	主要植物 Main plants	土壤类型 Soil type	母质 Parent material
西坡	16	曼刀营	1 110	思茅松 ( <i>Pinus kesiyi</i> var. <i>langbianensis</i> ) 紫茎泽兰 ( <i>Eupatorium adenophorum</i> )	赤红壤	粉砂岩、细砾岩
	15	大水井	1 580	思茅松 峨眉木荷 ( <i>Schima wallichii</i> )	山地黄红壤	页岩
	4	三棵树	2 450	木壳石砾 ( <i>Lithocarpus xylocarpus</i> ) 景东石栎 ( <i>L. chintungensis</i> ) 腾冲栲 ( <i>Castanopsis wattii</i> )	山地黄棕壤	石英、页岩、粉砂岩
	3	三棵树后山(山顶)	2 650	倒卵叶石栎 ( <i>L. pachyphylloides</i> ) 乌饭饭树 ( <i>Vaccinium</i> spp.)	山地棕壤	片麻岩、石英等
东坡	(1)	刘家村	1 000	椎连栎 ( <i>Quercus franchetii</i> ) 白头树 ( <i>Garuga forrestii</i> )	燥红土	砂砾岩
	(2)	夏摩村	1 900	云南松 ( <i>Pinus yunnanensis</i> ) 云南克雷木 ( <i>Craibiodendron yunnanensis</i> )	山地红壤	变质粉砂岩
	(5)	夏摩后山	2 300	包头栎 ( <i>Lithocarpus craibianus</i> ) 元江栲 ( <i>Castanopsis orthaeantha</i> )	山地黄棕壤	片岩
	(6)	小心厂后山(山顶)	2 740	倒卵叶石栎 杜鹃 ( <i>Rhododendron</i> spp.)	山地棕壤	石英、片岩

表 2 不同土壤类型的腐殖质组成  
Tab.2 Humus composition of different soil types

坡向 Slope direction	剖面号 Profile No.	深度 Depth (cm)	土层 Horizon	pH	全碳(%)	全氮(%)	C/N	腐殖质 Humus	胡敏酸 Humic acid	富里酸 Fulvic acid	胡敏酸/富里酸 HA/FA	E <sub>4</sub> /E <sub>6</sub>
					Total C	Total N						
西坡	16	0—10	A	3.80	1.64	0.025	41.60	34.6	5.8	28.8	0.20	4.21
		10—29	B	3.75	0.49	—	—	30.6	—	—	—	—
	15	0—20	A	3.91	2.04	0.077	26.49	32.4	7.4	25.0	0.30	3.68
		20—62	B	3.88	1.12	0.048	23.33	16.1	7.1	27.7	0.26	—
	4	2—20	A <sub>1</sub>	3.50	7.42	0.229	32.40	25.7	12.1	13.6	0.89	3.45
20—50		A <sub>2</sub>	3.85	4.64	0.103	45.05	28.0	14.0	14.0	1.00	—	
3	0—9	A	2.80	13.80	0.374	36.90	35.6	21.6	14.0	1.54	3.33	
东坡	(1)	0—15	A	3.85	1.46	0.055	26.54	38.4	6.9	31.2	0.22	4.33
		15—67	B	3.90	0.57	—	—	15.8	—	—	—	—
	(4)	0—21	A	4.00	3.44	0.162	21.23	42.7	11.9	30.8	0.39	3.13
		21—45	B	4.00	0.62	0.048	12.92	59.7	19.4	40.3	0.48	—
	(5)	0—18	A <sub>1</sub>	4.20	5.76	0.292	19.73	40.9	14.8	26.2	0.56	3.20
		18—61	A <sub>2</sub>	4.20	2.88	0.180	16.00	50.0	17.7	32.3	0.55	—
(6)	0—10	A	2.70	5.28	0.271	19.48	43.9	27.5	16.5	1.67	3.05	
	10—24	B	3.10	1.71	0.148	7.50	50.4	23.4	27.0	0.87	—	

中各种碳含量用丘林法测定。其中胡敏酸的光学特征和絮凝极限值按文启孝等介绍的方法。

## 二、土壤腐殖质组成的垂直分布

从哀牢山垂直带上各种土壤类型腐殖质的组成(表2)来看,它们的垂直变化都有一定的规律性。图1为表层土壤中腐殖质的组成与海拔高度的关系。可见从东坡的燥红土、山地红壤、山地黄棕壤到山地棕壤,以及西坡的赤

$$\begin{aligned} \text{东坡: } C'_{\text{全碳}}(\%) &= 1.00 \times 10^{-4} H^{1.39} \\ &r = 0.97 \\ C'_{\text{胡}}(\%) &= 1.37 \times 10^{-3} H^{1.22} \\ &r = 0.94 \end{aligned}$$

相反,随着海拔的升高,富里酸含量则逐渐降低,即:

$$\begin{aligned} \text{西坡: } C_{\text{富}}(\%) &= 40.83 - 0.01H \\ &r = -0.99 \\ \text{东坡: } C'_{\text{富}}(\%) &= 41.41 - 7.67 \times 10^{-5} H \\ &r = -0.83 \end{aligned}$$

以上方程是以4种土类为基础建立的,除东坡的富里酸外,其它的相关性都较好,规律明显。式中海拔(H)的单位是m。

腐殖质组成的变化是由于不同海拔的水热条件和植被类型的差异造成的。从低海拔到高海拔地区,气温逐渐降低,雨量随之增加。植被也从较稀疏的针叶林变到浓密的常绿阔叶林,地表枯落物的数量也逐渐增加。由于山顶的有机质含量丰富,雨量充足,微生物活动较旺盛,因此生物循环过程较快。地表枯落物能较快地被分解后进入土壤,所以土壤中能保持较高的有机质含量。另外由于微生物的分解作用强,土壤腐殖质大多被分解成胡敏酸。而在低海拔地区,虽然热量较高,但干燥限制了微生物的活动,加上本来枯落物较少,使土壤腐殖质含量偏低,腐殖质的分解也多集中在初始阶段的富里酸,因而胡敏酸含量较低。

腐殖质组成中的胡敏酸与富里酸的比值(HA/FA)与土壤的垂直地带性的关系也较大。根据上述分析可知,富里酸与胡敏酸呈相反的变化趋势。从图2可看出,赤红壤、燥红土、山地黄红壤和山地红壤的分布范围最低,仅0.20—0.39,此值与戴云山的山地红壤与山地黄红壤的数值(0.20—0.37)很接近。其次是山地黄棕壤,HA/FA值在0.56—0.89之间,分布最高的是山地棕壤,HA/FA值可达1.54—1.67。可见,总的变化趋势仍是随着海拔的升高而增加的,若令HA/FA=G,它也服从幂方程。

$$\text{西坡: } G = 2.04 \times 10^{-3} H^{2.27} \quad r = 0.97$$

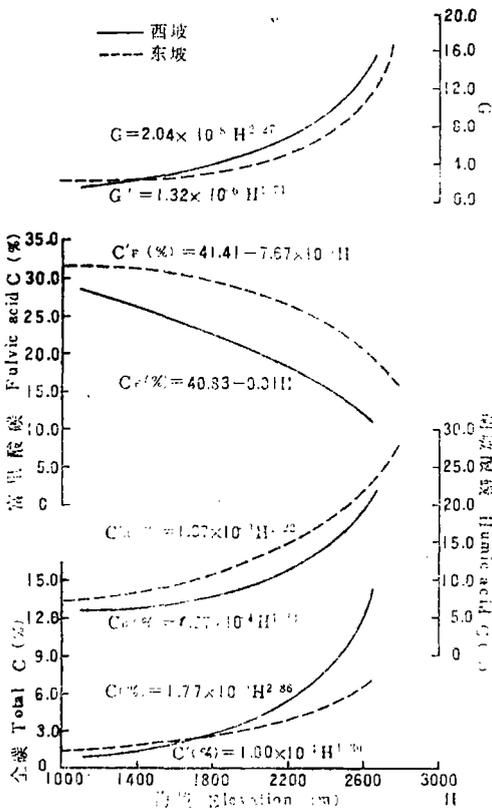


图1 哀牢山土壤腐殖质组成的垂直分布  
Fig.1 Vertical distribution of soil humus compositions in Ailao Mountain

红壤、山地黄红壤、山地黄棕壤、山地棕壤,随着海拔的升高,土壤有机碳和胡敏酸含量逐渐增加。通过回归分析计算,得到:

$$\begin{aligned} \text{西坡: } C_{\text{全碳}}(\%) &= 1.77 \times 10^{-4} H^{2.86} \\ &r = 0.98 \\ C_{\text{胡}}(\%) &= 4.67 \times 10^{-4} H^{1.33} \\ &r = 0.93 \end{aligned}$$

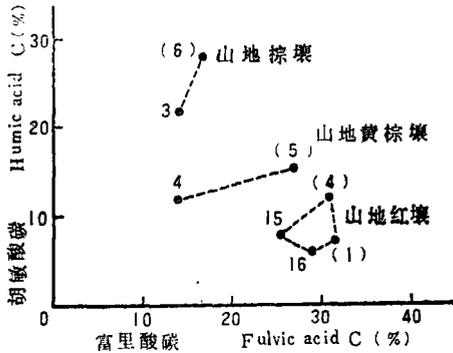


图2 各类土壤腐殖质组成的关系

Fig.2 Relationship in humus composition between various soil types

东坡:  $G' = 1.32 \times 10^{-6} H^{1.71} r = 0.88$

哀牢山的山地黄棕壤的 HA/FA 值(0.56—0.89) 略高于我国东部的山地黄棕壤(0.57—0.67), 而山地棕壤的 HA/FA 值却大大高于它。由于 HA/FA 值与胡敏酸的芳构化度成正比, 所以我们可以得出哀牢山东坡、西坡胡敏酸的芳构化度是随着海拔的升高而逐渐增大的。另外, 山地棕壤的芳构化度明显高于我国东部山地的同类土壤。

### 三、土壤腐殖质的特性

科诺诺娃(1966)认为, 胡敏酸光密度曲线的  $E_4/E_6$  比值能表征胡敏酸中芳香碳原子网的缩合程度以及分子中脂肪族侧链的多少。表2和图3均反映了胡敏酸的光密度值和光密度曲线。可见, 哀牢山西坡基带的赤红壤和东坡的燥红土都有较高的  $E_4/E_6$  比值, 分别为4.21和4.33。这说明干热条件促进了具有芳香碳网的胡敏酸的形成,  $E_{4.65}$  值较低则说明了胡敏酸分子中脂肪族侧链多, 缩合程度低。其结果与表征胡敏酸对电解质沉淀作用有较高的絮凝极限值的数据(表3)完全一致。这一特征表明胡敏酸分子中主要存在具有亲水基的侧链。而位于山顶的山地棕壤胡敏酸的光密度值  $E_{4.65}$  高达2.38—2.70, 相应的  $E_4/E_6$  比值却较低, 仅3.05—3.33。这说明胡敏酸分子中的芳香碳网的缩合程度高。此外, 它较易被  $\text{CaCl}_2$  沉淀, 也证实了分子中具有亲水基的侧链较少。

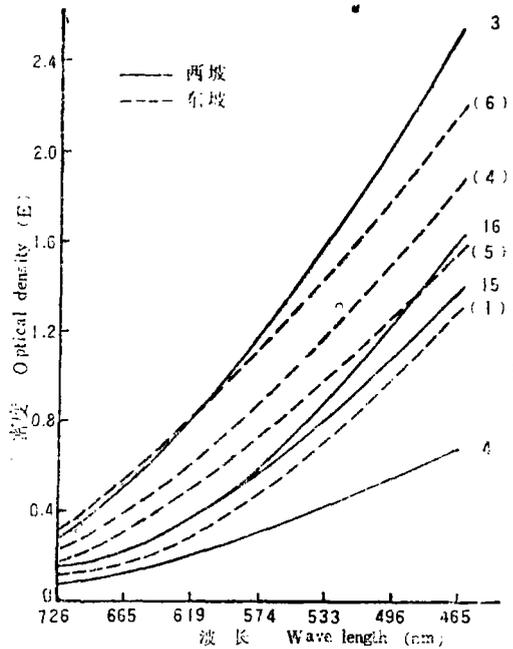


图3 胡敏酸的光密度曲线

Fig.3 Curve of optical density of humic acid

表3 哀牢山东、西坡各种土壤胡敏酸的絮凝极限

Tab.3 Flocculation limit of humic acid in various soil on the east and west slopes of Ailao Mountain

土壤编号 Soil No.	开始絮凝 Beginning flocculation		完全絮凝 Full flocculation		现象 Phenomenon
	时间 (hour)	$\text{CaCl}_2$ (mol. $\text{L}^{-1}$ )	时间 (hour)	$\text{CaCl}_2$ (mol. $\text{L}^{-1}$ )	
16	1	0.006	4	0.064	褐色絮状沉淀
15	1	0.012	4	0.048	黑色絮状沉淀
4	1	0.010	4	0.020	黑色絮状沉淀
3	立即	0.016	4	0.028	褐色疏松絮状沉淀
(1)	1	0.012	4	0.080	褐色絮状沉淀
(4)	1	0.008	4	0.080	褐色絮状沉淀
(5)	1	0.020	4	0.032	黑色絮状沉淀
(6)	立即	0.012	4	0.024	黑色絮状沉淀, 溶液中有少量絮状物

为进一步弄清各类土壤腐殖质的相互关系, 我们对胡敏酸光密度值进行了模糊聚类分析。由图4可看出, 哀牢山东、西坡的各类土壤之间都有一定的联系。其中西坡的赤红壤与山地黄红壤最接近(仅0.47), 它们又和东坡的燥红土有着密切的联系。西坡常绿阔叶林下的山地黄棕壤是个过渡类型, 单独作为一类。另外, 东坡的山地红壤与山地黄棕壤以及山顶

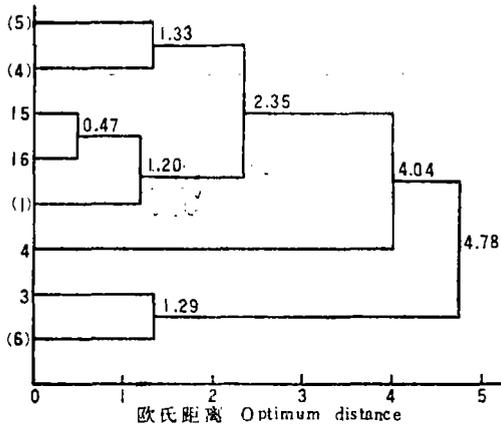


图4 胡敏酸光密度的聚类图。

Fig.4 Cluster chart of optical density of humic acid

的2个棕壤都可分别作为一类。这样,通过聚类图能将错综复杂的腐殖质区分开来。

#### 四、小 结

通过对哀牢山垂直带上各种土壤类型下腐殖质的组成和特性的研究,我们不难发现:

(上接4页)

析表明,D组( $0.059\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )叶片的含氟量比A组( $0.0126\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )高约5倍,但D组叶片仅出现5%的可见伤害症状。

叶片含氟量的分析结果表明,叶片吸氟能力是相当高的,尤其是水稻,仅仅接触HF几小时,叶片就能累积相当量的氟,如D组的水稻叶片,熏气8小时后叶片含氟量已高达2200ppm。据Bennett, J.H.报道,叶片吸收氟的速率比吸收 $\text{SO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_3$ 或 $\text{NO}$ 要快得多。

从水稻和茄子叶片电导率变化测得的结果来看,除了电导率随熏气时间的增加而增加外,各处理组之间差异并不明显,也许是由于接触时间太短,各处理组之间在电导率变化上差异还未能反映出来。

必须指出,在研究和比较植物对HF反应时,不仅要考虑到植物试验时的各种环境因素,而且还要注意到生物本身的诸如品种、生长季节和生长发育阶段等生物学特性。比如,Johnson在同样熏气条件下,比较了72种唐昌蒲坏死斑的发展情况,他发现有的品种受害叶面积仅为3%。而有的则高达54%<sup>[7]</sup>。1985

1. 土壤的酸性较强,盐浸pH值在2.7—4.2之间,有机质含量丰富,表层1.04—13.80%,次层相应降低。胡敏酸与富里酸之比多小于1,部分黄棕壤和棕壤大于1。表层的HA/FA值一般大于次层。胡敏酸光密度的 $E_4/E_6$ 在3.05—4.33之间,絮凝极限变化范围较大,达 $0.02\text{—}0.08\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{CaCl}_2$ 。

2. 土壤有机碳、胡敏酸碳含量以及胡敏酸与富里酸的比值都随海拔的升高而增加,其变化服从幂方程。相反,富里酸的含量则随海拔升高而降低。

3. 胡敏酸的光密度和絮凝极限值表明西坡的赤红壤和东坡的燥红土中胡敏酸分子的脂肪族侧链多,缩合度低,主要具有亲水基的侧链。而棕壤胡敏酸中的芳香碳网的缩合度高,分子中具有亲水基的侧链较少。其它土壤则介于二者之间。

#### 参考文献(略)

(收稿:1987年6月15日,改回:9月14日)

年,我们还发现即使用同一品种的植物在同样条件下进行试验,由于生长季节不同,植物对HF反应的敏感性迥然不同。例如,在春季黄瓜的敏感性明显大于大豆,但秋季,则是大豆大于黄瓜,这正说明了生物试验的复杂性。

#### 参 考 文 献

- [1] 汪嘉熙等:氟化物在桑蚕生态系统中的积累和转移,环境污染与生态学文集,江苏科技出版社,78—81,1981。
- [2] 卡咏梅:氟污染对蚕桑生产的影响,环境导报,(2),5—6,1985。
- [3] 唐述虞、陈树元:某些植物HF伤害阈值的研究,环境科学,8(2),10—14,1987。
- [4] Heagle, A.S. et al.: Thresholds for injury, growth and yield loss caused by ozone on field corn hybrids, *Phytopathology*, 69(1), 21—26, 1979。
- [5] Heck, W.W. and Brandt, C.S.: Effects on vegetation, native crops, forests, *Air Pollution*, New York, 157—229, 1977。
- [6] Hill, A.C. and Pack, M.R.: Effects of atmospheric fluoride on plant growth, *Fluorides: effects on vegetation, animals and humans*, Paragon Press, Inc, Salt Lake City Utah, 105—120, 1983。
- [7] Johnson, F. et al.: Leaf scorch of gladiolus caused by atmospheric fluorine effluents, *Phytopathology*, 40(2), 39—46, 1950。
- [8] Weinstein, L.H.: Effects of fluorides on plants and plant communities, In the same book as (7), 53—60, 1983。

(收稿:1987年8月25日,改回:12月25日)