

# 气候因素对土壤有机质组成和性质的影响\*

徐 跃 姚天全

(中国科学院昆明生态研究所 昆明 650223)

永塚镇男

(日本筑波大学应用生物化学系土壤研究室 筑波 305)

**提 要** 云南省哀牢山徐家坝自然保护区不同海拔的土壤有机质组成和性质与气候因素的相关分析结果表明,土壤有机质的组成( $H/F$ ),胡敏酸的光学特征( $E_4/E_6$ )和  $\text{CaCl}_2$  的絮凝极限( $FL$ 值),除  $FL$  和  $E_4/E_6$  与年均降雨量不呈显著相关关系外,其它数值均与年均温、 $\geq 10^\circ\text{C}$  积温和年均降雨量呈显著( $p < 0.01, n=7$ )的相关关系,并服从一元二次方程  $Y=A+BX+CX^2$ . 由此证明了气候因素对土壤有机质组成和胡敏酸的性质有显著的影响.

**关键词** 土壤有机质 胡敏酸 气候因素

土壤有机质是土壤的重要组成部分,在土壤的发生、分类和农业土壤肥力等方面的研究中,土壤有机质的组成、性质和有机碳、氮的转化一直受到人们的很大重视. 在山地土壤有机质的组成和胡敏酸性质等方面也进行过许多研究<sup>[1-4]</sup>,发现了一些有价值的规律,特别是近年来应用了红外、紫外和核磁共振等一些先进的仪器设备对土壤腐殖质中胡敏酸的内部分子结构进行探讨,取得了引人注目的进展<sup>[5,6]</sup>.

在自然界中土壤有机质的组成和性质受到包括母质、植被和水热条件等因素的影响<sup>[7]</sup>,然而这种影响有多大和数量关系如何,还有待于解决. 本文将着重讨论不同海拔的亚热带山地气候因素,如 $\geq 10^\circ\text{C}$  积温,年均温和年均降雨量对土壤有机质的组成和性质的相关关系,希望通过这项工作能为今后进一步开展环境变迁的研究提供一些有价值的理论依据.

## 1 自然条件

研究样地位于云南省景东县和楚雄县交界的哀牢山徐家坝自然保护区,地理位置是东经  $101^\circ 01'$ ,北纬  $24^\circ 32'$ . 保护区座落在哀牢山的分水岭,为丘状起伏的高原面,平均海拔 2 450m,西侧是景东县的川河河谷,东侧为楚雄县的石羊江河谷,其绝对高差大于 1 700m. 西坡由于受来自印度洋的西南季风影响而较东坡湿润. 该地的气候、土壤、植被均具有典型的南亚热带山地特征. 哀牢山徐家坝自然保护区植被、土壤的垂直分布(图 1)从山谷到山顶随着海拔的升高大致可分为以下几个生物气候带:

\* 中日合作《云南第四纪晚期环境变化研究》课题内容之一.

本文收稿日期:1994-03-01.

**南亚热带季风常绿阔叶林带** 海拔1500m以下,主要是常绿阔叶林破坏后形成的思茅松林 *Pinus kesiya* var. *langbianensis* 和红木荷 *Schima wallichii* 等。灌木层中有一些干热河谷植被种类,如余甘子 *Phyllanthus emblica* 和霸王鞭 *Euphorbia royleana* 等。草本层以紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum* 为主。年均温大于17℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温大于5700℃, 年均降雨量低于1200mm<sup>1)</sup>。

**中亚热带湿润季风常绿阔叶林带** 海拔1500—2100m, 东坡是半湿性常绿阔叶林和云南松 *Pinus yunnanensis* 林带, 乔木层中还有华山松 *P. armandi* 和元江栲 *Castanopsis orthacantha*, 灌木和草本层主要有云南克雷木 *Craibiodendron yunnanensis*、厚皮香 *Ternstroemia gymnanthera* 和羊耳菊 *Inula cappa* 等。而西坡仍为思茅松林带。年均温13.5—17.0℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温在5700—4200℃之间, 年均降雨量为1200—1600mm。

**北亚热带中山湿性常绿阔叶林带** 海拔2100—2600m, 主要植被有木果石栎 *Lithocarpus xylocarpus*、腾冲栲 *Castanopsis waltii* 和景东石栎 *Lithocarpus chintungensis*, 灌木层以箭竹 *Sinarundinaria nitida* 为主, 草本层多为蕨类植物, 如: 滇西瘤足蕨 *Plegiogyria communis* 和凤尾蕨 *Pteris nervosa* 等。年均温10.5—13.5℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温在4200—3000℃之间, 年均降雨量为1840mm。

**暖温带苔藓矮林** 海拔2600m以上, 主要植物有倒卵叶石栎 *Lithocarpus pachyphyloides*、露珠杜鹃 *Rhododendron irroratum* 和米饭树 *Vaccinium duclouxii* 等。这里仅是一些孤立的峰, 具有风大、雾大、气温低的特点, 年均温低于10.5℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温低于3000℃, 年均降雨量大于1840mm。

## 2 材料和方法

哀牢山徐家坝自然保护区是中国科学院昆明生态研究所从事森林生态研究的野外工作定位站所在地, 自1978年以来, 动植物、土壤、气象等学科在此做过大量的基础性研究工作<sup>[8]</sup>。本文有关的植物和气象资料均来自于这些研究。在徐家坝自然保护区的东坡和西坡, 根据垂直带上植被和土壤的分布情况, 选择有代表性的地点共采集了七个土壤剖面(表1)。

待测样品经风干粉碎后采用电极法测定pH值, 丘林法测定土壤有机含量, 全氮用半

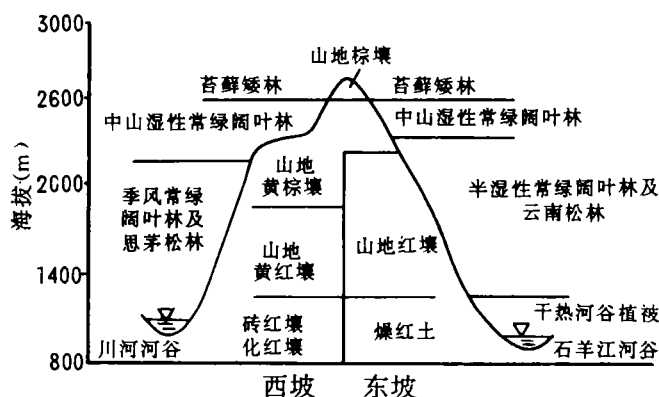


图1 哀牢山徐家坝自然保护区植被和土壤的垂直分布  
Fig. 1 Vegetation and soil vertical distribution in Xujiaba Natural Reserve of Ailao Mountains

1) 部分气象数据来源于《哀牢山中山北段山地生态研究》一书(1990)。

表1 供试土壤的自然条件

Table 1 Natural conditions of the soli samples

剖面号	海拔(m)	地点	坡向	年均温(℃)	≥10℃积温(℃)	年降雨量(mm)	植被类型	土壤类型
I	1 000	刘家村	E	20.0	7 311	1 000	干热河谷植被	燥红土
II	1 110	曼刀营	W	18.8	6 868	1 200	季风常绿阔叶林	砖红壤、化红壤
III	1 580	大水井	W	16.8	6 144	1 500	及思茅松林	山地黄红壤
IV	1 900	嘎摩村	E	15.5	5 205	1 300	半湿性常绿阔叶林及云南松林	山地红壤
V	2 300	后山	E	12.2	3 594	1 420		山地黄棕壤
VI	2 450	三棵树	W	11.9	3 416	1 800	中山湿性常绿阔叶林	山地黄棕壤
VII	2 740	小心厂后山	W	10.0	3 035	1 850	苔藓矮林	山地棕壤

微量凯氏法测出<sup>[9]</sup>。土壤腐殖质的组成用焦磷酸钠-重铬酸钾法<sup>[10]</sup>,胡敏酸的光密度值和CaCl<sub>2</sub>的絮凝极限值用科诺诺娃法测定<sup>[11]</sup>。

3 土壤有机质的组成

从哀牢山徐家坝自然保护区不同生物气候条件下的土壤有机质的组成(表2)中可以看出,在低海拔地区,由于植被稀疏,气温较高,土壤有机质分解较快,因此存留在土壤中的有机质含量相对较少。而从中海拔到高海拔地区(>1 900m),由于人类活动减少,森林保存较好,加之气温逐渐下降,降低了土壤动物和微生物的活动强度,而残留在土壤中的有机质也较多。总之土壤有机质和全氮含量都有随着海拔的升高而增加的趋势。在土壤有机质组成中,腐殖质所占的比例随海拔的变化仅在32.4—43.9%之间,说明生物气候条件的改变对土壤腐殖质的相对含量影响不大,这与朱鹤健<sup>[12]</sup>的研究结果相一致。

表2 供试样品的土壤有机质组成

Table 2 Soli organic matter composition of different samples

剖面号	深度(cm)	pH值	全碳(%)	全氮(%)	C/N	腐殖质(%)	胡敏酸	富里酸	残渣	H/F
I	0—15	3.85	1.46	0.055	26.50	0.56/38.4	0.10/6.9	0.46/31.2	0.90/61.6	0.22
	15—67	3.90	0.57	N.D	—	0.09/15.8	N.D	N.D	0.48/84.2	N.D
II	0—10	3.80	1.04	0.025	41.60	0.36/34.6	0.06/5.8	0.30/28.8	0.68/65.4	0.20
	10—29	3.75	0.49	N.D	—	0.15/30.6	N.D	N.D	0.34/69.4	N.D
III	0—20	3.91	2.04	0.077	26.49	0.66/32.4	0.15/7.4	0.51/25.0	1.38/67.6	0.30
	20—62	3.88	1.12	0.048	23.33	0.18/16.1	0.08/7.1	0.10/27.7	0.94/83/9	0.26
IV	0—21	4.00	3.44	0.162	21.23	1.47/42.7	0.41/11.9	1.06/30.8	1.97/57.3	0.39
	21—45	4.00	0.62	0.048	12.92	0.37/59.2	0.12/19.4	0.25/40.3	0.25/40.8	0.48
V	0—18	4.20	5.76	0.292	19.73	2.36/40.9	0.85/14.8	1.51/26.2	3.40/59.1	0.56
	18—61	4.20	2.88	0.180	16.00	1.44/50.0	0.51/17.7	0.93/32.3	1.44/50.0	0.55
VI	2—20	3.50	7.42	0.229	32.40	1.91/25.7	0.90/12.1	1.01/13.6	5.51/74.3	0.89
	20—50	3.85	4.64	0.103	45.05	0.29/28.0	0.14/14.0	0.15/14.0	0.73/71.0	1.00
VII	0—10	2.70	5.28	0.271	19.48	2.32/43.9	0.87/16.5	1.45/27.5	2.96/56.1	0.60
	10—24	3.10	1.11	0.148	7.50	0.56/50.4	0.26/23.4	0.30/27.0	0.55/49.6	0.87

注:N.D为没测定;分子为占土重(%);分母为占全碳(%);pH值为1N KCl浸提。

分析结果表明哀牢山的土壤有机质组成以富里酸为主,胡敏酸与富里酸之比(H/F)值均小于1。从表2中还可以看出在土壤有机质中胡敏酸的含量受水热条件的影响较大,

从燥红壤,砖红壤化红壤,山地红壤,山地黄棕壤到山地棕壤,表层土壤胡敏酸的含量从5.8%增加到16.5%,具体表现在它与年均温呈显著的负相关关系,其线性相关系数 $r=-0.935\ 5$ , $p<0.01$ .而富里酸含量与年均温的相关系数仅为 $r=0.542\ 3$ ,同样也反映在胡敏酸与富里酸的比值随海拔的升高而逐渐增加,但到山地棕壤后又开始下降.在自然界中土壤有机质的分解是一个复杂的生物化学反应过程,其反应产物如胡敏酸和富里酸,受所处自然环境的影响和在一定的湿度条件下气温过高或过低都不利于土壤腐殖质组成 $H/F$ 值的增加,其原因也许与土壤微生物的活性机制有关,这还需作进一步的探究.哀牢山山地黄棕壤的 $H/F$ 值(0.89)略高于安徽黄山(0.61)和江西井冈山(0.67).山地棕壤的 $H/F$ 值(0.60)与地带性棕壤如沈阳东陵(0.55)和辽宁千山(0.56)基本相似<sup>[1]</sup>.而山地红壤 $H/F$ 值(0.20)和山地黄红壤(0.30)与浙江省武夷黄冈山的红壤和黄红壤的 $H/F$ 值(0.19)和(0.27)非常接近<sup>[13]</sup>.

为证明土壤有机质组成与生物气候环境的关系,运用一元二次方程( $Y=A+BX+CX^2$ )对 $H/F$ 值与气候因素,包括年均温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和年均降雨量进行了回归分析,获得了令人满意的结果.拟合方程(表3)可以看出 $H/F$ 值与年均温和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的相关关系最好,相关系数分别为0.984 0和0.971 3,均达到极显著水平( $p<0.001$ , $n=7$ ),而与年均降雨量的关系不显著,由此证明气候因素特别是温度的变化是影响土壤有机质组成的主要外部条件.

表3 气候因子与土壤有机质组成和性质的相关方程

Table 3 Correlation equations between climatic factors with soli organic matter composition and properties

气候因子	土 壤 有 机 质 组 成 和 性 质		
	$H/F$	$E_4/E_6$	$FL$
10℃以上 积温(℃)	$Y=11\ 017.6-21\ 125.15X+14\ 013.08X^2$ $R=0.984\ 00^{**}$	$Y=-2\ 016.222+1\ 335.473X-17.509\ 6X^2$ $R=0.873\ 9^{*}$	$Y=-986.999\ 4+217.756\ 75X-1.572\ 3X^2$ $R=0.897\ 1^{*}$
年均温 (℃)	$Y=28.075\ 8-47.357\ 4X+32.468X^2$ $R=0.971\ 30^{**}$	$Y=-4.153\ 2+4.232\ 5X-0.150\ 1X^2$ $R=0.886\ 1^{*}$	$Y=2.963\ 4+0.417\ 4X-0.002\ 9X^2$ $R=0.892\ 6^{*}$
年均降雨 量(mm)	$Y=745.366\ 6+2\ 131.724X-1\ 084.776X^2$ $R=0.841\ 70$	$Y=2\ 900.005-337.835\ 3X+13.974\ 4X^2$ $R=0.759\ 3$	$Y=2\ 243.427-24.249\ 8X+0.132\ 3X^2$ $R=0.903\ 0^{*}$

注: \*\* $P<0.001$ , $n=7$ ; \*为 $P<0.01$ , $n=7$ ;  $X$ 为土壤有机质组成和性质; $Y$ 为气象因子.

4 土壤胡敏酸的特性

在哀牢山徐家坝自然保护区,土壤有机质的组成与气候因素间有着密切的关系,测试结果(表4)表明,土壤胡敏酸的性质,如光学特性和电解质的絮凝极限等也有同样的规律,胡敏酸溶液(0.136 mg C/L)在 $\lambda=465$ 和665nm处的吸光度值之比( $E_4/E_6$ )和对 $\text{CaCl}_2$ 的絮凝极限值( $FL$ ),均与生物气候条件有关.胡敏酸的 $E_4/E_6$ 和 $FL$ 值除山地红壤因溶液浑浊而测定误差较大外,其他则由砖红壤化红壤,山地红壤,山地黄棕壤到山地棕壤而逐渐降低.这说明生物气候条件不仅影响了土壤有机质的组成,同时也对胡敏酸的分子结

构产生影响.

表 4 土壤胡敏酸的絮凝极限和光密度值

Table 4 Flocculation limit and optical density of soil humic acid

剖面号	深度(cm)	开始絮凝(CaCl <sub>2</sub> mmol/L)	完全絮凝(CaCl <sub>2</sub> mmol/L)	<i>E</i> <sub>485</sub>	<i>E</i> <sub>665</sub>	<i>E</i> <sub>4</sub> / <i>E</i> <sub>6</sub>
I	0—15	12	80	1.30	0.18	7.22
II	0—10	6	64	1.56	0.21	7.80
III	0—20	12	48	1.36	0.22	6.18
IV	0—21	8	80	1.90	0.40	4.75
V	0—18	20	32	1.60	0.30	5.33
VI	2—20	10	20	1.02	0.20	5.10
VII	0—10	12	24	2.20	0.55	4.00

注:单位 mmol/L 为毫摩尔/升.

在胡敏酸的性质, $E_4/E_6$ 和 $FL$ 值与山地气候因素的关系(表3)中,只有 $E_4/E_6$ 和年均降雨量的相关系数( $r=0.759\ 3$ )较差而达不到显著水平外,其它的相关系数都在 $0.87—0.90$ 之间,均能达到显著水平( $p<0.01,n=7$ ).在南亚热带山地,土壤胡敏酸的 $E_4/E_6$ 和 $FL$ 值的变化趋势与所处生物气候带的年均温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温成正比,而与年均降雨量成反比.

5 小 结

通过对云南哀牢山徐家坝自然保护区七个剖面的土壤有机质组成和胡敏酸性质的研究表明:在南亚热带山地土壤有机质组成的 $H/F$ 值,具有由燥红土,砖红壤化红壤,山地红壤,山地黄棕壤呈逐渐增加的趋势,而到山地棕壤又开始下降,在山地黄棕壤以下地区,由低海拔到高海拔, $H/F$ 值在山地上的垂直变化有着与水平地带由南到北之变化相一致的趋势.

水热条件的变化不仅影响了土壤有机质中胡敏酸和富里酸的相对含量,同时也对胡敏酸溶液的吸光性质和电解质溶液的絮凝极限产生不同程度的影响.在土壤母质、水热条件和植被三大影响因素中,温度是最为重要的.在南亚热带山地,土壤有机质组成的 $H/F$ 值与年均温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温成反比,与年均降雨量成正比.而土壤胡敏酸的 $E_4/E_6$ 和 $FL$ 值的变化趋势正好与此相反.

在哀牢山徐家坝自然保护区的土壤有机质组成和胡敏酸性质与气候因素的相关关系中, $H/F$ 值与年均温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的变化具有极好的二次回归关系,其显著水平可达到 $p<0.001$ .在一定条件下,可以运用表3中的有关方程式,通过对土壤、泥炭或煤等腐殖质组成的 $H/F$ 值分析结果来计算出该物质形成时大致的气候条件,这对研究环境的变迁将具有实际意义.当然这个方法是否适用还需进行大量的验证.

参 考 文 献

[1] 丁瑞兴.我国东部山地棕壤和黄棕壤的腐殖质组成和性质.土壤通报,1985,16(6):258—260.  
[2] 田淑珍,邹永久.吉林省几种主要土壤腐殖质组成和性质的研究.土壤通报,1987,18(1):23—26.  
[3] 张世聪,徐跃.哀牢山土壤胡敏酸性的垂直分布研究.西南林学院学报,1987,(1):1—8.

- [4] 徐跃,张世聪. 哀牢山山地黄棕壤腐殖质的研究. 土地研究,1992,10(1),33—38.
- [5] 扬承栋,张万儒. 卧龙自然保护区森林土壤有机质的研究. 土壤学报,1986,23(1),30—39.
- [6] 窦森,陈恩凤,须湘成等. 土壤胡敏酸性的核磁共振研究. 土壤通报,1989,20(6),263—266.
- [7] 文启孝. 我国土壤有机质和有机肥料的研究现状. 土壤学报,1989,26(3),255—261.
- [8] 中国科学院昆明生态研究室. 云南哀牢山森林生态系统研究. 云南:云南科技出版社,1983. 20—117.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海:上海科技出版社,1977. 62—136.
- [10] 文启孝,彭福泉,钮季文等. 土壤有机质研究法. 北京:农业出版社,1984. 91—111.
- [11] 科诺诺娃 М М. 周礼恺译. 土壤有机质. 北京:科学出版社,1963. 125—337.
- [12] 朱鹤健. 福建山地土壤的特征和作用. 生物地理和土壤地理研究. 北京:科学出版社,1990. 141—145.
- [13] 严学之,吕仁焕. 武夷山黄岗山的土壤垂直带谱. 土壤通报,1989,20(3),101—104.

## COMPOSITION AND PROPERTIES OF SOIL ORGANIC MATTER INFLUENCED BY CLIMATIC FACTORS

Xu Yue Yao Tianquan

(Kunming Institute of Ecology, Chinese Academy of Sciences Kunming 652203)

Nagatsuka Shizuo

(Laboratory of Soil Science, Institute of Applied Biochemistry, University of Tsukuba,  
Japan Tsukuba 305)

### Abstract

Correlation analysis was applied for climatic factors with different altitude composition and properties of soil organic matter in Ailao Mountains' Xujiaba Reserve in Yunnan, China. The results shows that soil humus composition  $H/F$  ratio, humic acid optical properties  $E_4/E_6$  ratio and flocculation Limit ( $FL$ ) of  $CaCl_2$  have significant correlation with annual mean temperature ( $MT$ ), total temperature  $\geq 10^\circ C$  ( $TT$ ) and annual mean precipitation, except  $H/F$  and  $E_4/E_6$  with  $MT$  ( $r=0.8417$  &  $0.7593$ ). The correlation suitable second-order equation  $Y=A+BX+CX^2$ .  $H/F$  has the best correlation with ( $MT$ ) and  $TT$  in all equations, the correlation coefficient can get  $0.9840$  and  $0.9713$ , the significance  $P<0.001$ ,  $n=7$ . Summary, 1. Climate factors not only influence soil humus composition but also humic acid properties. 2.  $H/F$  ratio,  $E_4/E_6$  ratio and  $FL$  are all significant correlation with climate factors such as  $MT$  and  $TT$ . 3. In some conditions, it can try to apply  $H/F$  ratio of some humus composition as a special value to estimate weather condition in some area or ancient time.

**Key words** organic matter of soil, humic acid, climatic factors