

“三江并流区”暗棕壤腐殖质特性及其与土壤结构的关系

王晶¹, 何忠俊², 王立东¹, 龙兴智², 和顺荣³, 王建忠³, 洪常青¹

(1. 云南农业大学 资源与环境学院, 云南 昆明 650201;

2. 云南省丽江市土壤肥料工作站, 云南 丽江 674100; 3. 云南省迪庆州土壤肥料工作站, 云南 迪庆 674400)

摘要: 采用野外调查与室内分析相结合的方法, 研究了“三江并流区”5个典型暗棕壤剖面腐殖质特性及其与土壤结构的关系, 以为该区土地资源的保护提供有利依据。结果表明, 腐殖质含量与有机碳的分布规律一致, 即腐殖质层 > 淋溶层 > 淀积层 > 母质层。腐殖质组成中, 以胡敏素 (HA) 占绝大多数。HA 分子复杂程度较高, 化学稳定性较强。土壤腐殖化程度与富里酸 FA 分子复杂程度和化学稳定性一致, 随年降雨量的增加而降低, 依次为哈巴雪山 > 千湖山 > 梅里雪山 > 云岭 > 高黎贡山。1~0.5 mm 粒径团聚体含量居多, 且粒径含量与腐殖酸含量均随年均温的升高而降低, 依次为高黎贡山 > 梅里雪山 > 千湖山 > 哈巴雪山 > 云岭。研究结果表明, 表层有机碳与 1~0.5 mm 粒径含量相关, 胡敏酸和富里酸与 1~0.5, 0.5~0.25 mm 粒径含量呈显著相关。

关键词: 暗棕壤; 腐殖质; 土壤结构

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0053-06

中图分类号: S153.622, S152.4

Relationship on Dark-brown Soil Humus Distribution and Soil Structure in Three Parallel Rivers Area

WANG Jing¹, HE Zhong-jun², WANG Li-dong¹, LONG Xing-zhi²,
HE Shun-rong³, WANG Jian-zhong³, HONG Chang-qing¹

(1. Faculty of Resources and Environmental Science, Yunnan Agricultural University,

Kunming 650201, China; 2. Soil and Fertilizer Station of Lijiang City, Yunnan Province,

Lijiang 674100, China; 3. Soil and Fertilizer Station of Yunnan Province, Diqing 674400, China)

Abstract: Properties of humus and soil structure of five typical dark brown soil profile in “Three Parallel Rivers Area” were studied in the lab and through field survey as well to gain a better knowledge to protect the land resources in the view and provide a favorable basis. Results show that the content of humus and the distribution rule of organic carbon is the same, that is humus layer > leached layer > deposition layer > parent layers. Humic acid takes the major part in the Humus composition. HA have a higher degree of molecular complexity and chemical stability strong. The degree of soil humus and the complexity of the FA molecules and the chemical stability is the same, with the increase in annual rainfall decreases, followed by Haba Snow Mountain > Qianhu Mountain > Meili Snow Mountain > Yunling > Gaoligongshan. The content of water-stable aggregate are mostly content of 1~0.5 mm diameter, and the size of content and humic acid levels were elevated with the annual average temperature decreases, followed by Gaoligongshan > Meili Snow Mountain > Qianhu Mountain > Haba Snow Mountain > Yunling. Surface organic carbon is related to the content of the 1~0.5 mm size, humic acid and fulvic acid are also significantly related to particle size of 1~0.5 mm, 0.5~0.25 mm content.

Keywords: dark-brown soil; humus; soil structure

土壤有机质 (SOM) 是土壤具有结构性和生物性的基本物质, 同时也是极为重要和复杂的天然有机物, 它

既是生命活动的条件, 也是生命活动的产物, 有机质含量被视为衡量土壤肥力的重要指标^[1]。土壤腐殖质的

收稿日期: 2009-06-23

修回日期: 2009-08-10

资助项目: 云南省科技厅自然科学基金项目“三江并流区山地土壤发生特征与系统分类”(2006D0039M)

作者简介: 王晶 (1985—), 女 (汉族), 山西省榆次市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤物理。E-mail: wangjing198559@163.com。

通信作者: 何忠俊 (1962—), 男 (汉族), 陕西省城固县人, 博士后, 教授, 研究方向为土壤地理和核技术应用方面的教学和科研。E-mail: hezhongjun@hotmail.com。

组成和性质是区分土壤类型的重要诊断指标之一^[2]。土壤腐殖质对保证土壤结构稳定性、土壤缓冲能力以及植物、微生物正常生命活动具有重要意义^[3]。

土壤结构是重要的土壤物理性质,土壤团聚体是土壤结构的基本单位,土壤团聚体影响土壤的许多物理化学性质,其结构、稳定性是土壤学的重要方面^[4]。许多研究者采用土壤团聚体的含量等结构性质作为土壤侵蚀和退化的指标^[5]。因此研究土壤结构对于林业水文生态功能及土壤流失、环境效应等方面发挥特别重要的意义。

国内外学者曾对土壤腐殖质进行了大量的相关研究,主要从气候、植被、土地利用方式、土壤类型等角度研究其组成和性质。但关于“三江并流区”土壤腐殖质、土壤结构的研究少见报道,由于三江并流特殊的地理位置及其环境条件,且暗棕壤分布范围较广,同时也是人类活动较为频繁的区域。本试验选取“三江并流区”典型暗棕壤为研究对象,结合“三江并流区”特殊的地理位置及环境条件,研究了典型暗棕壤剖面腐殖质特性、土壤结构,并探讨了两者之间的相互关系,以期为“三江并流区”土地资源的保护提供有利依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区域概况

“三江并流区”是指云南省西部怒江、澜沧江、金沙江平行并流附近区域。其范围大致在东经 98°—100°31',北纬 25°30'—29°之间。总面积约 40 000 km²。它是以怒江、澜沧江、金沙江等大型河流,高黎

贡山、碧罗雪山、云岭等横断山脉为主体,自然景观和生物多样性为特色,具有生态和生物多样性保护、探险旅游、科普、科学考察等多种功能的中国特大型国家重点风景名胜区。该区云集了南亚热带、中亚热带、北亚热带、暖温带、温带、寒温带和寒带等多种气候类型和植物群落类型,也是中外瞩目的世界级自然保护区和旅游胜地,是中国生物多样性和世界温带生物多样性最丰富的区域,在第 27 届世界遗产大会中,“三江并流”自然景观被列入联合国教科文组织的《世界遗产名录》。

1.2 样品的采集

本试验土样分别采自哈巴雪山片区、千湖山片区、高黎贡山片区、白茫—梅里雪山片区、云岭片区,人为扰动少,无耕作迹象的 5 个典型暗棕壤剖面不同层次。按照腐殖质层(A_h)、淋溶层(A₂)、淀积层(B)、母质层(C)分层取样,共计 20 个土样。将土壤样品风干,磨碎,过筛进行腐殖质组分、光密度、土壤结构等指标的测定分析。5 个采样点土壤的成土条件及环境状况见表 1。

1.3 测定项目与方法

(1) 有机质。用重铬酸钾法^[6]测定。

(2) 腐殖质组成。用焦磷酸钠—氢氧化钠混合液提取法^[7]。

(3) 胡敏酸、富里酸光密度。以液层厚度 1 cm,碳浓度为 0.136 g/L 的胡敏酸、富里酸提取液测定, E₄ 和 E₆ 分别为波长 465 nm 和 665 nm 的光密度^[8]。

(4) 土壤团聚体组成(0.25~0.5,0.5~1,1~2 mm)用湿筛法^[8]测定。

表 1 土壤成土环境条件

采样地点	经纬度	海拔/m	年均温/	年降雨量/mm	母质	植被
(白茫)丫口下	N28°19'40" E99°06'13"	3 619	5~8	849.8	泥质砂岩坡积物	云冷杉
(千湖山)吉沙	N27°25'10" E99°49'10"	3 150	4~5	800~850	玄武岩坡积物	云冷杉,光皮桦树
(高黎贡山)贡山	N27°47'37" E98°30'92"	2 991	4~5	3 030	角闪岩坡积物	冷杉、箭竹、蜈蚣草
(哈巴)角龙南 1 km	N27°41'34" E100°00'57"	2 880	6~3	584.4	石灰岩	针阔混交林
(云岭)山神庙丫口	N26°27'17" E99°18'43"	2 850	10	980~1 010	紫色砂岩坡积物	剑竹、针阔混交林、栎树

2 结果与分析

2.1 “三江并流区”典型暗棕壤剖面腐殖质的分布特征

土壤腐殖质主要由胡敏酸(HA)、富里酸(FA)和胡敏素(HM)组成,土壤腐殖质的组成和性质状况对

土壤的物理、化学及生物学性质等都有重要影响^[9]。

从表 2 可以看出,5 大片区暗棕壤的总有机碳含量(SOC)的垂直分布趋势一致,均由表层向下逐渐减少,即腐殖质层>淋溶层>淀积层>母质层,其中腐殖质层的含碳量高达 58.56~204.72 g/kg,大致为

母质层含碳量的 6~8 倍;腐殖酸含碳量随年均温的升高而逐渐降低,其年均温分别为:高黎贡山 4 ~ 5 ;白茫梅里雪山 5 ~ 8 ;千湖山 4 ~ 5 ;哈巴雪山 6 ~ 3 ;云岭 10 。腐殖酸含碳量依次为:高黎贡山 > 白茫片区 > 千湖山片区 > 哈巴雪山 > 云岭,腐殖酸含碳量与土壤剖面有机碳的分布规律一致。腐殖质组成中,均以胡敏素居多, A_h 层为 36.64~126.99 g/kg, C 层为 1.1~14.99 g/kg;除千湖山片区 A_h 层 HA 含碳量高于 FA,其余各剖面各层次均以 FA 高于 HA,这主要与“三江并流区”特殊的高山地形、水热条件、植被类型等条件有关(表 1)。

表 3 所示,5 大片区暗棕壤腐殖质组成均以胡敏素占到绝大多数,所占比例大致范围在 4.79%~42.99%,富里酸为 5%~50%,胡敏酸为 1%~10%,其中胡敏素在碳截获,养分保持和生物地球化学循环等方面具有重要作用。由表层向下胡敏酸、富里酸、胡敏素所占比例逐渐下降。主要由于剖面上层土壤一般为植物根系的主要分布深度,同时又接受了地表枯落物的输入,因此上层胡敏酸、富里酸、胡敏素所占比例较高,而下层土壤(母质层)由于植物根系较少,缺乏外来碳源的供给,土壤碳含量小,基本处于稳定状态,有机碳含量较低。

表 2 供试土壤各组分含碳量

地点	层次	有机质含碳量 TOM	腐殖酸含碳量 HC	腐殖质各组分含碳量		
				胡敏酸 HA	富里酸 FA	胡敏素 HM
梅里雪山	A _h 层	168.39	36.55	15.87	20.69	131.84
	A ₂ 层	88.74	11.37	2.05	9.32	77.37
	B 层	56.06	10.83	0.68	10.15	45.23
	C 层	20.46	10.56	0.41	10.15	9.90
千湖山	A _h 层	171.52	8.52	4.38	4.15	162.99
	A ₂ 层	59.32	27.78	8.75	19.02	31.55
	B 层	14.52	8.25	1.64	6.61	6.27
	C 层	12.41	4.40	0.00	4.40	8.01
高黎贡山	A _h 层	204.72	88.00	30.00	58.00	116.72
	A ₂ 层	176.51	96.25	15.32	80.93	80.26
	B 层	186.84	93.50	17.51	75.99	93.34
	C 层	38.37	23.38	2.00	21.38	14.99
哈巴雪山	A _h 层	58.56	20.90	13.78	10.10	37.66
	A ₂ 层	13.86	5.69	0.82	4.87	8.18
	B 层	5.36	2.71	0.41	2.30	2.65
	C 层	4.76	1.35	0.00	1.35	3.41
云岭	A _h 层	60.22	20.58	7.66	12.92	39.64
	A ₂ 层	29.88	13.54	3.01	10.53	16.34
	B 层	16.11	10.83	1.09	9.74	5.27
	C 层	4.89	3.79	0.55	3.24	1.10

2.2 “三江并流区”典型暗棕壤腐殖化的剖面特征

HA/FA 值的大小反映了土壤腐殖化程度的高低^[10],试验中,5 个典型暗棕壤剖面的腐殖化程度均由表层向下逐渐减小,依次为腐殖质层(A_h) > 淋溶层(A₂) > 淀积层(B) > 母质层(C)。5 大片区腐殖化程度随年降雨量的增大呈降低趋势,由高到低为:哈巴雪山 > 千湖山 > 梅里雪山 > 云岭 > 高黎贡山。其中腐殖质层腐殖化程度相比其它土层较大,主要是由于有机质含量高,植被覆盖较好,光照强,凋零物分解速度快,冷湿条件下腐殖质化程度高所致。其它层次腐殖化程度都较低,主要是由于在酸性土壤中富里酸含量居多,降雨差异所致(见图 1)。

2.3 “三江并流区”典型暗棕壤 HA 的光学性质

土壤胡敏酸的光密度值(E₄/E₆)在一定程度上反映腐殖酸分子中芳香环的缩合度、芳构化度和分子量大小等,其值愈大,则反映腐殖酸分子中芳香环的缩合度、芳构化度和分子量愈小^[11]。胡敏酸的 E₄/E₆ 愈小,其分子的复杂程度愈高,芳香核原子团多,缩合度愈高,相反,较为简单的胡敏酸则芳构度小,脂肪键多,其 E₄/E₆ 比值大。

由图 2 可以看出,“三江并流区”5 个典型暗棕壤胡敏酸的光密度值平均在 4~6,它的比值较小,则有利于提高该区土壤分子的复杂程度和腐殖质的化学稳定性。

表 3 供试土壤腐殖质含量占土壤剖面有机碳总量的比例

%

地点	层次	腐殖酸含碳量 HC	胡敏酸 HA	富里酸 FA	胡敏素 HM
梅里雪山	A _h 层	21.71	9.42	12.28	78.29
	A ₂ 层	12.82	2.31	10.50	87.18
	B 层	19.32	1.22	18.10	80.68
	C 层	51.60	2.01	49.60	48.40
千湖山	A _h 层	4.97	2.55	2.42	95.03
	A ₂ 层	46.82	14.76	32.06	53.18
	B 层	56.81	11.30	45.51	43.19
高黎贡山	C 层	35.45	0.00	35.45	64.55
	A _h 层	42.99	14.65	28.33	57.01
	A ₂ 层	54.53	8.68	45.85	45.47
	B 层	50.04	9.37	40.67	49.96
哈巴雪山	C 层	60.93	5.21	55.72	39.07
	A _h 层	16.18	9.34	6.84	83.82
	A ₂ 层	41.01	5.92	35.09	58.99
	B 层	50.56	7.66	42.90	49.44
云岭	C 层	28.45	0.00	28.45	71.55
	A _h 层	34.17	12.72	21.45	65.83
	A ₂ 层	45.31	10.07	35.24	54.69
	B 层	67.25	6.79	60.45	32.75
	C 层	77.52	11.19	66.33	22.48

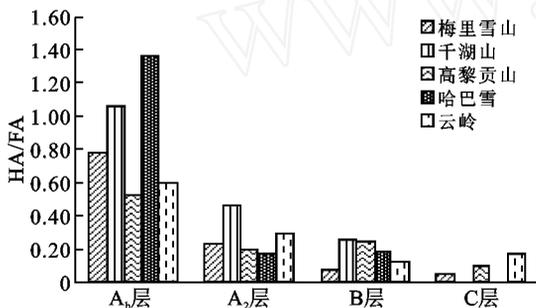
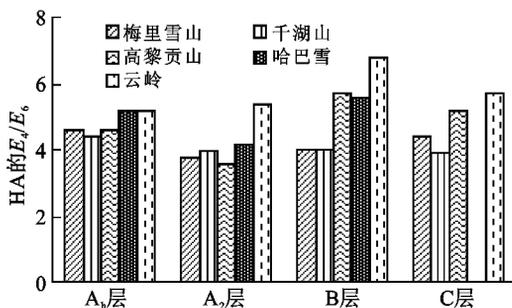


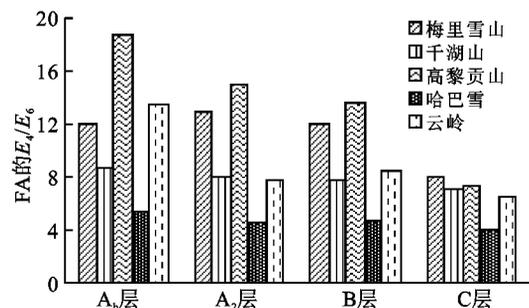
图 1 暗棕壤的 HA/FA

图 2 暗棕壤 HA 的 E₄/E₆

2.4 “三江并流区”典型暗棕壤 FA 的光学性质分析

FA 是腐殖物质中分子量较小,活性较大,氧化程度较高的组分,它在物质迁移、植物营养与土壤肥力方面发挥着重要作用^[12]。由图 3 所示,5 大片区暗棕壤 FA 的 E_4/E_6 均由表层向下逐渐降低但下降幅度不大,其中哈巴雪山暗棕壤 FA 的 E_4/E_6 最小,说明该区

土壤 FA 的结构较复杂,FA 的缩合程度、芳香度较高,其稳定性最好。5 大片区 FA 的 E_4/E_6 值也随年降雨量的增大呈降低状况,化学稳定性由强到弱依次为哈巴雪山 > 千湖山 > 梅里雪山 > 云岭 > 高黎贡山。

图 3 暗棕壤 FA 的 E₄/E₆

2.5 “三江并流区”典型暗棕壤水稳性团聚体组成

土壤水稳性团聚体含量是评价土壤结构性的一个重要指标。团聚体的测定有利于了解土壤水分的众多方面,如径流、入渗、再分布、通气以及根系生长^[13]。从表 4 可见,对“三江并流”5 大片区暗棕壤各层土样经过湿筛处理后,土壤粒径 1~0.5 mm 的水稳性团聚体所占比例远远大于 2~1 mm 和 0.5~0.25 mm 团聚体含量,且所占比例大致范围在 14.03%~44.85%,其次是粒径 2~1 mm。水稳性团聚体含量最小的是粒径为 0.5~0.25 mm 的团聚体。资料显示^[15],粒径过大或太小对土壤结构的稳定性产生较

大的影响,粒径过大的团聚体在雨水湿润,空气压缩的条件下,可使其团聚体遭到破裂,破坏土壤结构,还可以造成微小团聚体的黏粒发生分散,在遇降雨情况下随地表径流流失,造成地表土壤损失。由于以上 5 大片区降雨量和年均温的差异,因此地表土壤流失情况也会有所不同。可以得出,土壤粒径为 1~0.5 mm 的团聚体相比其它更有利于稳定土壤结构,从而减少地表土壤流失。

2.6 “三江并流区”典型暗棕壤有机质组分与水稳性团聚体含量的相关性分析
土壤有机质及其组分是形成水稳性团聚体的基

础物质,对“三江并流区”5 个典型暗棕壤剖面的有机质组分与土壤水稳性团聚体 2 mm 各粒径做了相关性分析,从表 5—8 中可以看出;A_h 层的胡敏酸与 1~0.5 mm 粒径含量呈极显著相关,与 0.5~0.25 mm 粒径呈显著相关;富里酸与 1~0.5 mm 粒径含量呈显著相关,与 0.5~0.25 mm 粒径含量呈极显著相关。A₂ 层仅胡敏素与 2~1 mm 粒径含量成显著相关。B、C 层有机质各组分与水稳性团聚体相关性不显著。这主要是由于在整个土壤剖面中,表层土壤有机质含量高,而淀积层和母质层含量较低,有机质在水稳性团聚体组成中的作用较弱所致。

表 4 不同片区暗棕壤团聚体组成

地点	土壤剖面	各粒级团聚体占 2 mm 颗粒的含量		
		2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm
白茫—梅里雪山	A _h 层	13.59	34.09	6.69
	A ₂ 层	19.03	39.76	6.90
	B 层	20.38	43.86	4.21
	C 层	4.53	14.03	1.95
千湖山	A _h 层	6.40	23.69	5.18
	A ₂ 层	7.21	39.52	8.89
	B 层	12.13	35.01	8.08
	C 层	17.86	36.55	6.57
高黎贡山	A _h 层	7.23	39.63	12.57
	A ₂ 层	14.83	34.22	8.83
	B 层	7.13	44.85	8.72
	C 层	19.41	22.84	5.22
哈巴雪山	A _h 层	6.28	24.61	7.61
	A ₂ 层	8.18	37.15	7.65
	B 层	3.32	15.33	7.88
	C 层	4.89	15.50	3.54
云岭	A _h 层	3.59	18.88	7.59
	A ₂ 层	8.70	28.87	10.90
	B 层	11.71	26.35	8.54
	C 层	2.63	17.06	8.27

表 5 暗棕壤 A_h 层有机质组分与 2 mm 水稳性团聚体的相关系数

有机质组分	有机碳	胡敏酸 HA	富里酸 FA	胡敏素 HM	水稳性团聚体		
					0.5~0.25 mm	2~1 mm	1~0.5 mm
有机碳	1.0000						
胡敏酸	0.669 5	1.0000					
富里酸	0.695 5	1.051 9**	1.000 0				
胡敏素	0.902 9*	0.243 9	0.205 0	1.000 0			
2~1 mm	0.494 0	0.341 1	0.181 0	0.546 7	1.000 0		
1~0.5 mm	0.881 5*	0.984 0**	0.927 9*	0.486 3	0.577 1	1.000 0	
0.5~0.25 mm	0.353 9	0.949 2*	0.993 8**	-0.162 7	-0.031 5	0.764 8	1.000 0

表 6 暗棕壤 A₂ 层有机质组分与 2mm 水稳性团聚体的相关系数

有机质组分	有机碳	胡敏酸 HA	富里酸 FA	胡敏素 HM	水稳性团聚体		
					2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm
有机碳	1.000 0						
胡敏酸	0.877 5	1.000 0					
富里酸	0.958 1 [*]	0.952 1 [*]	1.000 0				
胡敏素	0.883 9 [*]	0.521 6	0.628 0	1.000 0			
2~1 mm	0.626 0	0.084 9	0.289 7	0.911 4 [*]	1.000 0		
1~0.5 mm	0.033 4	-0.067 0	-0.242 1	0.331 8	0.258 8	1.000 0	
0.5~0.25 mm	-0.135 0	0.209 6	0.125 7	-0.434 1	-0.531 2	-0.775 2	1.000 0

表 7 暗棕壤 B 层有机质组分与 2mm 水稳性团聚体的相关系数

有机质组分	有机碳	胡敏酸 HA	富里酸 FA	胡敏素 HM	水稳性团聚体		
					0.5~0.25 mm	2~1 mm	1~0.5 mm
有机碳	1.000 0						
胡敏酸	0.992 2 ^{**}	1.000 0					
富里酸	1.017 2 ^{**}	1.045 5 ^{**}	1.000 0				
胡敏素	1.024 1 ^{**}	0.914 2 [*]	0.980 8 ^{**}	1.000 0			
2~1 mm	-0.114 2	-0.324 9	-0.253 8	0.063 4	1.000 0		
1~0.5 mm	0.736 0	0.608 1	0.639 9	0.831 2	0.596 2	1.000 0	
0.5~0.25 mm	0.142 2	0.411 2	0.335 2	-0.078 8	-0.823 8	-0.346 1	1.000 0

表 8 暗棕壤 C 层有机质组分与 2mm 水稳性团聚体的相关系数

有机质组分	有机碳	胡敏酸 HA	富里酸 FA	胡敏素 HM	水稳性团聚体		
					2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm
有机碳	1.000 0						
胡敏酸	0.904 8 [*]	1.000 0					
富里酸	1.031 8 ^{**}	0.952 5 [*]	1.000 0				
胡敏素	1.001 0 ^{**}	0.753 7	0.951 0 [*]	1.000 0			
2~1 mm	0.694 6	0.511 5	0.606 9	0.763 6	1.000 0		
1~0.5 mm	0.136 8	-0.077 7	0.041 5	0.333 9	0.881 4 [*]	1.000 0	
0.5~0.25 mm	-0.280 2	0.041 6	-0.228 3	-0.338 0	0.246 0	0.491 2	1.000 0

注: $r_{0.05} = 0.878\ 3$; $r_{0.01} = 0.958\ 7$ 。

3 结论

(1) “三江并流区”5 个典型暗棕壤剖面的腐殖质各组分,都由表层往下逐渐减少,即腐殖质层 > 淋溶层 > 淀积层 > 母质层,腐殖酸含碳量随年均温的升高而降低,由高到底依次为:高黎贡山 > 白茫片区 > 干湖山片区 > 哈巴雪山 > 云岭。腐殖质组成中,胡敏素含碳量最高,FA 的含碳量均大于 HA 的含碳量,即 $HM > FA > HA$ 。

(2) 5 个典型暗棕壤剖面的腐殖化程度由表层往下逐渐降低,其中腐殖化程度随年降雨量的增加呈现降低的趋势,由高到低依次为:哈巴雪山 > 干湖山 > 梅里雪山 > 云岭 > 高黎贡山。

(3) 5 个典型暗棕壤剖面 HA 的 E_4/E_6 值大约

在 4~6,比值较小,说明分子复杂程度较高,化学稳定性较强。

(4) 5 个典型暗棕壤剖面 FA 的 E_4/E_6 同样反映分子复杂程度、缩合程度及化学稳定性。化学稳定性随年降雨量的增大而降低,化学稳定性由强到弱依次为哈巴雪山 > 干湖山 > 梅里雪山 > 云岭 > 高黎贡山。

(5) 5 个典型暗棕壤剖面中水稳性团聚体含量均以 1~0.5 mm 粒径占绝大多数,粒径含量随年均温的升高而降低,由高到底依次为:高黎贡山 > 白茫片区 > 干湖山片区 > 哈巴雪山 > 云岭。

(6) 5 个典型暗棕壤剖面 A_h 层胡敏酸、富里酸含量(g/kg)均与湿筛 1~0.5,0.5~0.25 mm 粒径含量呈显著相关。

(下转第 170 页)

- (2):37-39.
- [14] 张信宝. 关于三峡水库消落带地貌变化之思考[J]. 水土保持通报, 2009, 29(3):1-4.
- [15] 秦胜伍. 三峡地区地质环境演化分析[D]. 长春: 吉林大学, 2006:78.
- [16] 长江水利委员会. 三峡工程地质研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997:294.
- [17] Li Jijun, Xie Shiyu, Kuang Mingsheng. Geomorphic evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation[J]. Geomorphology, 2001, 41(2/3):125-135.
- [18] 刘兴诗. 四川盆地的第四纪[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1983:156.
- [19] 向芳, 朱利东, 王成善, 等. 长江三峡阶地的年代对比法及其意义[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2005, 32(2):162-166.
- [20] 杨达源. 长江三峡的起源与演变[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1988, 24(3):466-473.
- [21] 张信宝, 文安邦, 张云奇, 等. 川中丘陵区小流域自然侵蚀速率的初步研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1):1-5.
- [22] 杜榕桓, 刘新民, 袁建模, 等. 长江三峡工程库区滑坡与泥石流研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990:207.
- [23] 徐永辉, 杨达源, 陈可锋, 等. 三峡水库蓄水后对库区岸坡地貌过程的影响[J]. 水土保持通报, 2006, 26(5):23-25.
- [24] 张奇华, 丁秀丽, 张杰, 等. 三峡库区奉节河段库岸蓄水再造研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7):1007-1012.
- [25] 汪华斌, 吴树仁. 长江三峡库区滑坡灾害危险性评价[J]. 长江流域资源与环境, 1998, 7(2):186-192.
- [26] 陈剑, 李晓, 杨志法. 三峡库区滑坡的时空分布特征与成因探讨[J]. 工程地质学报, 2005, 13(3):5-9.
- [27] 乔建平, 吴彩燕, 田宏岭. 三峡库区云阳—巫山段坡形因素对滑坡发育的贡献率研究[J]. 工程地质学报, 2006, 14(1):18-22.
- [28] 刘新民, 李娜, 乔建平. 威胁三峡库区安全的大型特大型滑坡崩塌[J]. 水土保持通报, 1987, 7(6):45-55.
- [29] 陈国阶. 三峡工程对生态与环境的影响及对策研究[M]. 北京: 科学出版社, 1995:337.
- [30] 郭希哲, 黄学斌, 徐开祥. 长江三峡链子崖危岩体和黄腊石滑坡防治工程[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1999, 10(4):15-21.
- [31] 孙广忠. 链子崖危岩体和黄腊石滑坡地质灾害防治方案论证中的几个问题[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994, 5(3):10-18.

(上接第 58 页)

(7) 暗棕壤腐殖酸含量与 1~0.5 mm 粒径含量主要受年均温影响较大, 而腐殖化程度与光学性质受年降雨量影响强烈。

[参 考 文 献]

- [1] 窦森, 李凯. 土壤有机质化学研究进展[J]. 土壤科学与农业可持续发展, 2008(上):108-120.
- [2] 杨继松, 于君宝, 刘景双, 等. 三江平原典型湿地土壤腐殖质的剖面分布及其组成特征[J]. 土壤通报, 2006, 37(5):865-868.
- [3] 何蓉, 张培芬, 杨卫. 高黎贡山自然保护区土壤腐殖质组成与微量元素含量的研究[J]. 西部林业科学, 2006, 35(2):48-52.
- [4] 张保华. 长江上游典型区森林土壤结构体形成和稳定性机制分析[J]. 聊城大学学报, 2007, 20(1):12-17.
- [5] 朱冰冰, 李鹏, 李占斌, 等. 子午岭林区土地退化/恢复过程中土壤水稳性团聚体的动态变化[J]. 西北农林科技大学学报, 2008, 36(3):124-128.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2004:30-34.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000:10-11.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海科学技术出版社, 1978:100-110.
- [9] 窦森, 李凯. 不同土地利用方式下棕壤胡敏素数量及结构特征研究[J]. 土壤科学与生态安全和环境健康, 2008:165-180.
- [10] 刘湛, 成应向, 向仁军. 腐殖质类物质的形态、结构及功能研究进展[J]. 科技资讯, 2006(22):27.
- [11] 徐小忠, 薛锦华, 印军荣. 不同类型土壤腐殖质组分的研究[J]. 江苏环境科技, 2006, 19(2):7-9.
- [12] 吴景贵, 王明辉, 姜亦梅, 等. 施用玉米植株残体对土壤富里酸组成、结构及其变化的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(1):133-141.
- [13] 王凤, 李海波, 韩晓增, 等. 黑土水稳性团聚体测定方法研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(2):138-145.
- [14] 杨长明, 欧阳竹. 华北平原农业土地利用方式对土壤水稳性团聚体分布特征及其有机碳含量的影响[J]. 土壤学报, 2008, 40(1):100-105.