

亚热带山地草甸土性态的变异及其在中国土壤系统分类中的地位^①

章明奎¹, 邱志腾¹, 姚玉才¹, 毛霞丽¹, 杨良觐¹, 麻万诸²

(1 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058; 2 浙江农业科学院数字农业研究所, 杭州 310021)

摘 要: 为了解我国亚热带地区山地草甸土性态的变化和成土特点, 从福建、浙江、江西、安徽、湖南和贵州等省采集了 20 个代表性山地草甸土剖面, 详细观察了土壤剖面形态特征, 分析了土壤颗粒组成、有机质、阳离子交换量(CEC)、酸度、氧化铁形态和黏土矿物类型等指标, 并从诊断分类的角度探讨了它们在中国土壤系统分类中的地位。结果表明: 这一地区的山地草甸土表层有机质积累均非常明显, 颜色普遍呈黑色和深褐色, 土壤酸化明显, 土壤氧化铁游离度多在 40% 以下, 土壤 CEC 较高。但研究也发现, 不同样点之间土壤的土体厚度、剖面构型、黏化状况、有机质垂直分布、氧化铁含量、矿物类型及其诊断层和诊断特性均有较大的差异。土体构型大致有 Ah-C、Ah-Bw-C、Ah-Bt-C 和 Ah-G-C 等 4 类。根据中国土壤系统分类的诊断标准, 可把研究的 20 个剖面归并为均腐土、潜育土、淋溶土、锥形土和新成土等 5 个土纲, 下续分为 6 个亚纲、10 个土类和 15 个亚类。研究认为, 在地理发生分类中笼统地把这些土壤归为一个土类存在边界不明确等问题。

关键词: 山地草甸土; 发生学性状; 成土过程; 诊断分类

中图分类号: S151; S155 **文献标识码:** A

山地草甸土是中国土壤分类系统(属地理发生分类)中的一个土类, 属半水成土土纲、淡半水成土亚纲^[1]。其主要依据地表景观(生长有草甸植物的中低山地)来定名, 所处纬度和海拔均未达到森林郁闭线以上的高度, 地貌主要为山地平缓的山脊和局部凹陷地段, 具有风大、生长稀疏树林或草本植物、植被覆盖度较高、气温较低、湿度较大、冬有积雪夏有浓雾等成土环境特点。在我国第二次土壤普查中, 亚热带地区的许多省份都设有此土类, 但各地的山地草甸土分布的海拔高度因山体高度不同存在较大的差异, 在 700 ~ 3 700 m^[2-7]。同时, 各地的山地草甸土的成土母质、植被组成也有较大的差异。成土母质几乎覆盖了常见的基岩风化物^[3-7]。植被也因区域与海拔不同有所变化, 例如安徽大别山地区的山地草甸土的植被主要由映山红、百氏柳、尖叶槲栎、枹、川榛等灌木组成^[8], 贵州雷公山、梵净山的山地草甸土的植被主要由高山杜鹃、山梅花、木姜子、箭竹、白牛旦等组成^[2]; 浙江的山地草甸土的植被主要由杜鹃、箭竹、白茅、拟麦氏草等组成^[3]。由于在划分此类土壤时主

要关注其分布区的景观特点、较多考虑表土有机质强积累特征, 缺乏具体的定量分类标准, 对剖面发育、矿物风化、物质垂直迁移等成土过程考虑较少, 因此各地划定的山地草甸土在性态上有较大的差异^[2,3,9-11]。近年来, 山地草甸土作为资源开发或生态环境保护的重要资源对象, 其性态越来越受到人们的重视^[12-15]; 同时, 作为土壤资源类型, 将这些分布区域较广泛的土壤全归为一个土类是否合理也需要深入探讨。为此, 本研究从福建、浙江、江西、安徽、湖南和贵州等省采集了 20 个山地草甸土剖面, 从多个方面比较分析了亚热带山地草甸土性态的差异, 并从诊断分类(定量分类)的角度对其类型划分进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 采集剖面

根据各地第二次土壤普查获得的山地草甸土分布信息, 本研究从福建、浙江、江西、安徽、湖南和贵州等省采集了 20 个代表性山地草甸土剖面, 其在第二次土壤普查中均划分为山地草甸土土类、山地草甸土亚类。按

基金项目: 国家科技基础性工作专项项目(2014FY110200)资助。

作者简介: 章明奎(1964—), 男, 浙江绍兴人, 博士, 教授, 主要从事土壤资源调查与分类方面的研究。E-mail: mkzhang@zju.edu.cn

中国土壤系统分类研究的相关要求进行野外调查、剖面观察与描述、分层土样的采集及土壤形态观察^[16]。采集剖面的地点、地形、海拔、成土母质等信息见表 1，部分采样点景观和土壤剖面分别见图 1 和图 2。

表 1 采集土壤剖面的基本信息
Table 1 Information of studied soil profiles

剖面号	地点	地形	海拔(m)	坡度(°)	成土母质	利用方式	发生分类亚类
闽 1	福建省武夷山市黄岗山	中山顶部	2 144	<5	流纹质凝灰岩风化物	灌丛草甸	山地草甸土
闽 2	福建省南平市滕阳山	低山上坡蝶形洼地	1 210	<2	角砾质砂岩风化物	草地	山地草甸土
闽 3	福建省南平市滕阳山	低山顶部山脊	1 220	<5	角砾质砂岩风化物	稀疏草地	山地草甸土
浙 1	浙江丽水市大山峰	低山顶鞍部	1 150	<5	凝灰岩风化物	草地	山地草甸土
浙 2	浙江杭州市大明山	低山顶部低洼处	1 155	<5	硅质灰岩风化物	湿生草地	山地草甸土
浙 3	浙江省丽水市天堂山	中山鞍部平缓处	1 500	<5	凝灰岩风化物	湿生草地	山地草甸土
皖 1	安徽省六安市帽顶山	低山中上部	1 445	<5	花岗岩风化物	灌丛草地	山地草甸土
赣 1	江西省九江市庐山	低山中上部	1 435	<5	花岗岩风化物	草地	山地草甸土
湘 1	湖南省邵阳市金童山	中山山顶	1 634	<5	花岗岩风化物	草地	山地草甸土
黔 1	贵州省黔东南雷公山	中山上部	2 150	5~10	板岩风化物	草地	山地草甸土
黔 2	贵州省毕节市珠市彝族乡	高原中山中上部平缓地带	2 404	<15	白云岩风化物	草地	山地草甸土
黔 3	贵州省黔西南州下山镇	高原中山顶部平台地	1 689	<5	泥页岩风化物	草地	山地草甸土
黔 4	贵州省六盘水市坪寨彝族乡	高原石灰岩峰丛洼地	2 205	<5	石灰岩风化物	草地	山地草甸土
黔 5	贵州省六盘水市乌蒙大草原	高原山地低凹处	2 376	<25	玄武岩风化物	灌丛草地	山地草甸土
黔 6	贵州省六盘水市乌蒙大草原	高原山地中上坡	2 521	<10	玄武岩风化物	灌丛草地	山地草甸土
黔 7	贵州省毕节市韭菜坪	高原中山平缓地带	2 461	<10	石灰岩风化物	草地	山地草甸土
黔 8	贵州省毕节市珠市彝族乡	高原中山平缓地带	2 467	<15	白云岩残积物	草地	山地草甸土
黔 9	贵州省黔西南州三望坪	高原中山顶部平台地	1 834	<5	砂页岩互层风化物	草地	山地草甸土
黔 10	贵州省毕节市凉水沟草场	高山中上坡缓坡地带	2 463	<10	石灰岩风化物	草地	山地草甸土
黔 11	贵州省黔南州草原乡	中山平缓山顶	1 559	<10	炭质砂页岩风化物	草地	山地草甸土

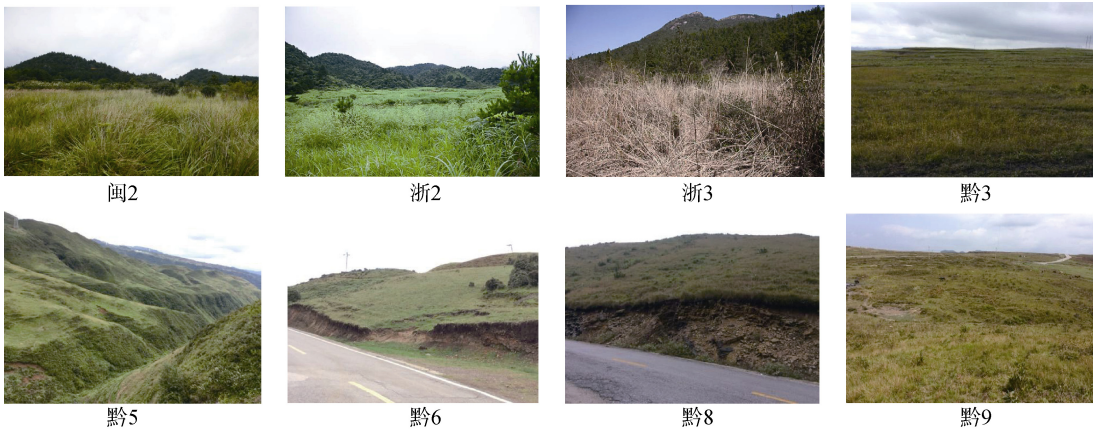


图 1 采样点典型地貌景观
Fig.1 Typical landscape features of sampling areas

1.2 分析方法

采集的分层土样经风干处理,充分混匀后磨细过 2 mm 土筛,部分土壤进一步研磨过 0.125 mm 土筛,按标准方法测定土壤颗粒组成、pH、CEC、有机质、全氮、全钾、全钠、全钙、全镁、全磷、氧化铁形态、黏粒硅铝率和黏土矿物类型等^[17-18]。其中,颗粒组成用比重计法测定;pH 用电位法测定;CEC 和交换性

盐基用醋酸铵(pH 7.0)交换法测定;交换性铝用中性氯化钾交换法测定;有机质用重铬酸钾-硫酸氧化法测定;全氮用消化-蒸馏法测定;全钾、全钠、全钙、全镁、全磷和全铁采用 XRF 法(X 射线荧光分析法)测定;游离氧化铁采用 DCB 法提取,邻啡罗啉比色法测定;土壤黏粒(<2 μm)用沉降法提取,黏粒中硅、铝用碳酸钠碱熔法熔融,ICP 法测定;黏土矿物类型

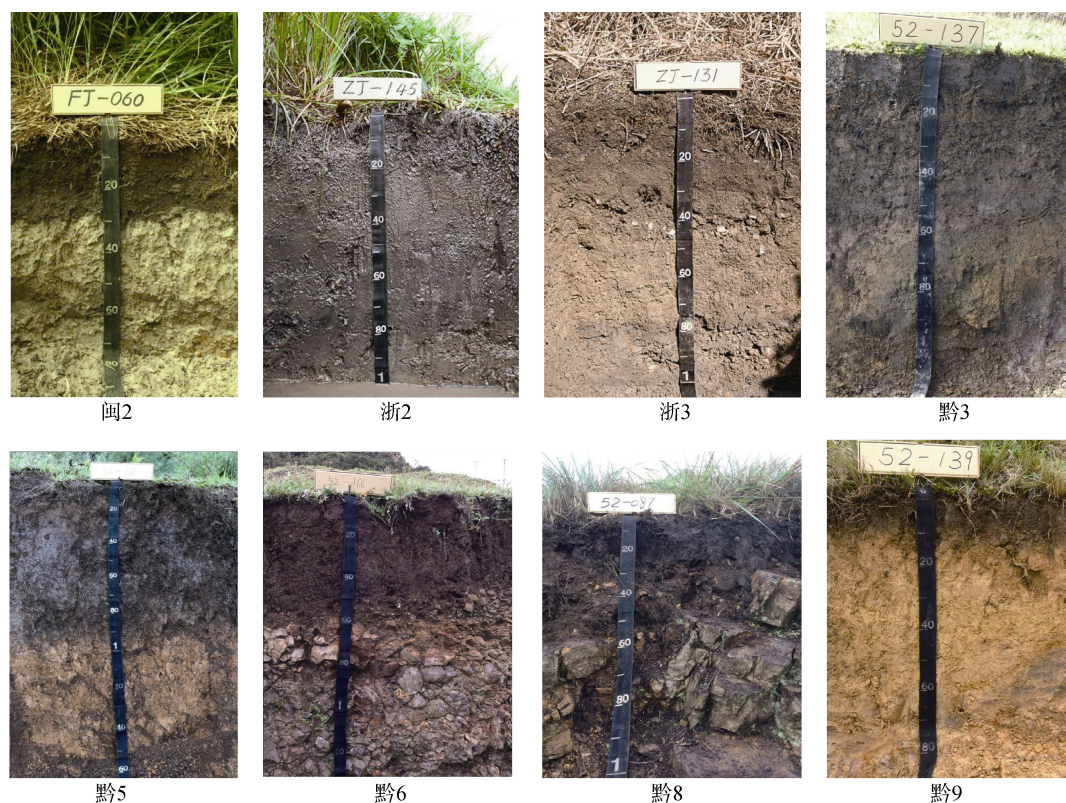


图 2 代表性土壤剖面

Fig. 2 Representative soil profiles

采用镁甘油饱和定向片及钾饱和定向片-XRD 法(X 射线衍射法)鉴定。铝饱和度(%) = 交换性铝 \times 100/ECEC(式中 ECEC 为有效阳离子交换量);盐基饱和度和(%) = 交换性阳离子总和 \times 100/CEC。

2 结果与分析

2.1 土壤温度和土壤湿度状况

20 个代表性山地草甸土因分布海拔较高(均在 1 100 m 以上),其土壤温度状况均属温性($<16^{\circ}\text{C}$)。但其水分状况因微地形差异有所不同,其中,浙 2 和黔 3 两个剖面点因地处低洼处,排水较差,土体存在明显的滞水(浙 2 全剖面滞水),属于滞水水分状况;其他剖面点的水分均属于常湿水分状况。

2.2 土壤颜色、质地、土体厚度与剖面构型

20 个代表性剖面的土壤颜色普遍较暗,其色调变化较小,主要为 10YR,其次为 7.5YR 和 2.5Y 或 10Y;表层土壤的明度主要在 3 以下,少数为 4~7;彩度介于 1~3,这显然与研究土壤有机质积累较高有关。多数剖面的腐殖质层(Ah)发育明显,呈暗棕色或暗黑色,团块状结构,疏松。除少数碳酸盐岩和玄武岩母质形成的土壤部分土层的质地为黏土外(黔 5、黔 7、黔 9 和黔 10),其他土壤的质地全属于壤土大

类(包括黏壤土、壤土和砂质壤土),说明研究的多数土壤的风化较弱。20 个剖面的土体厚度(指母质层以上的土层)变化很大,介于 10~125 cm,多数在 80 cm 以下。土体构型大致有 Ah-C、Ah-Bw-C、Ah-Bt-C 和 Ah-G-C 等 4 类,其中浙 2 剖面因受长期积水的影响,其剖面具有潜育特征(剖面构型为 Ah-G-C)。田间观察表明,部分山地草甸土土体上部为草根层,少数存在厚 2~3 cm 未分解或半分解的凋落物层(闽 1、闽 2、浙 2、赣 1 和黔 1)。多数山地草甸土剖面上下层间质地较为接近,但闽 2、黔 4、黔 5 和黔 7 等剖面心土层黏粒含量明显高于表土,具黏化层。

2.3 土壤有机质积累

表 2 中土壤剖面颜色和有机质分析数据都表明,山地草甸土有机质积累过程作用强烈,有机质积累非常明显,除少数剖面外,表层土壤的有机质含量在 50 g/kg 以上,部分达 100 g/kg 以上。该类土壤有机质积累不仅表现在表层,还有垂直向下发展的趋势,多数土体较厚的剖面其心土层也积累较高的有机质,在垂直方向上有机质没有出现突减的现象。这显然与山地草甸土植被良好、湿度大、根系生物量较大、温度较低、有机质不易分解等有关。因草类植被根系周年存在死亡-再生的循环变化,为土壤提供了大量的有机物质。

表 2 土壤颜色、颗粒组成与有机质含量
Table 2 Soil color, particle composition and organic matter content

剖面号	发生层	深度(cm)	颜色(润态)	砾石(g/kg)	砂粒(g/kg)	粉砂(g/kg)	黏粒(g/kg)	质地(美国制)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)
闽 1	Ah1	0 ~ 25	2.5Y2/1	140	496	216	288	砂质黏壤土	113.21	5.08
	Ah2	25 ~ 43	2.5Y3/1	70	476	260	264	砂质黏壤土	101.45	4.78
	Bw	43 ~ 67	2.5Y6/2	90	482	225	293	砂质黏壤土	29.87	1.65
	C	67 ~ 125	10YR6/2	350	575	181	244	砂质黏壤土	21.33	1.13
闽 2	Ah	0 ~ 28	2.5Y2/1	7	593	258	149	砂质壤土	73.07	3.26
	Bt	28 ~ 70	2.5Y6/2	3	276	425	299	黏壤土	20.16	1.04
	BC	70 ~ 100	10Y8/1	600	763	137	100	壤质砂土	2.74	0.12
闽 3	Ah	0 ~ 15	10YR3/1	2	770	140	90	壤质砂土	24.94	1.11
	C	15 ~ 22	10YR7/2	24	710	218	72	砂质壤土	3.60	0.23
浙 1	Ah1	0 ~ 18	10YR7/1	0	486	317	167	壤土	200.10	14.12
	Ah2	18 ~ 36	10YR3/3	5	411	377	212	壤土	126.70	3.58
	Bwr	36 ~ 60	10YR4/3	2	488	313	199	壤土	63.40	2.27
	Cg	60 ~ 93	10YR5/2	71	671	165	164	砂质壤土	34.12	0.98
浙 2	Ahg1	0 ~ 20	2.5Y 4/2	268	658	247	94	砂质壤土	80.9	4.13
	Ahg2	20 ~ 50	2.5Y 5/1	20	259	600	141	粉壤土	103.3	3.63
	G	50 ~ 80	2.5Y 4/1	108	291	594	115	粉壤土	101.6	3.07
	C	80 ~ 125	2.5Y 4/2	249	338	522	140	粉壤土	33.3	1.43
浙 3	Ah	0 ~ 37	10YR 3/2	99	611	282	106	砂质壤土	75.8	3.72
	Bwr1	37 ~ 75	10YR 6/4	186	648	278	75	砂质壤土	26.3	1.87
	Bwr2	75 ~ 110	2.5Y 5/2	270	633	258	109	砂质壤土	20.8	1.01
皖 1	Ah	0 ~ 12	10YR3/3	53	499	321	180	砂质壤土	154.23	7.35
	Bw1	12 ~ 36	10YR4/2	47	473	334	193	砂质壤土	102.33	4.18
	Bw2	36 ~ 75	10YR3/4	78	496	328	176	砂质壤土	56.24	2.84
赣 1	Ah	0 ~ 26	10YR3/2	21	432	354	214	壤土	98.57	4.54
	Bw	26 ~ 43	10YR3/3	15	409	368	223	壤土	51.24	2.91
	C	43 ~ 89	10YR4/2	271	474	318	208	壤土	37.24	1.57
湘 1	Ah	0 ~ 23	10YR2/3	124	415	398	187	壤土	121.45	3.87
	Bw	23 ~ 43	10YR3/3	57	395	412	193	壤土	67.56	2.45
	C	43 ~ 65	10YR5/3	329	376	456	168	壤土	32.45	1.21
黔 1	Ah1	0 ~ 15	10YR2/1	58	479	287	234	壤土	213.32	10.43
	Ah2	15 ~ 34	10YR2/2	113	469	314	217	壤土	153.23	6.32
	C	34 ~ 60	10YR6/2	-	-	-	-	-	-	-
黔 2	Ah	0 ~ 10	10YR2/2	200	118	655	226	粉砂壤土	155.53	5.57
	Bw	10 ~ 80	10YR2/3	100	251	530	218	粉砂壤土	39.36	1.74
	C	80 ~ 140	10YR4/4	390	190	563	247	粉砂壤土	35.95	1.02
黔 3	Ah1	0 ~ 10	10YR2/2	100	332	330	338	黏壤土	165.86	5.80
	Ah2	10 ~ 34	10YR3/2	250	440	336	224	壤土	183.61	6.24
	AB	34 ~ 55	10YR3/3	100	244	472	284	黏壤土	98.90	3.87
	Bw	55 ~ 110	10YR5/2	0	347	371	281	黏壤土	96.03	3.55
黔 4	Ah1	0 ~ 35	10YR2/1	0	296	411	293	黏壤土	151.23	5.29
	Ah2	35 ~ 70	10YR2/1	0	222	463	315	黏壤土	168.23	6.05
	Bt	70 ~ 125	10YR3/3	0	123	422	455	粉砂质黏土	69.65	2.56
黔 5	Ah	0 ~ 30	7.5YR3/2	0	37	521	441	粉砂质黏土	82.64	3.12
	Bw	30 ~ 90	7.5YR3/2	0	370	350	280	黏壤土	98.91	3.53
	Bt	90 ~ 150	7.5YR5/8	0	99	340	560	黏土	42.11	1.76

续表 2

剖面号	发生层	深度(cm)	颜色(润态)	砾石(g/kg)	砂粒(g/kg)	粉砂(g/kg)	黏粒(g/kg)	质地(美国制)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)
黔 6	Ah	0 ~ 22	10YR3/2	5	336	496	168	壤土	159.63	5.46
	Bw	22 ~ 55	10YR3/2	0	400	428	172	壤土	110.87	4.64
	C	55 ~ 130	—	980	—	—	—	—	—	—
黔 7	Ah	0 ~ 15	7.5YR4/3	50	317	415	268	壤土	59.74	2.58
	Bw	15 ~ 55	7.5YR5/4	10	289	460	251	壤土	42.38	2.21
	Bt	55 ~ 125	7.5YR7/8	30	222	202	576	黏土	16.55	0.84
黔 8	Ah	0 ~ 32	10YR2/2	150	478	300	222	壤土	128.07	1.93
	Bw	32 ~ 50	10YR3/4	750	779	138	83	砂质壤土	34.55	0.58
黔 9	Ah	0 ~ 11	10YR3/2	20	155	319	526	黏土	110.17	2.91
	Bw	11 ~ 70	10YR7/6	10	91	373	535	黏土	26.70	1.21
	C	70 ~ 100	2.5Y5/2	—	—	—	—	—	—	—
黔 10	Ah	0 ~ 20	7.5YR3/3	0	135	493	372	粉砂质黏壤土	46.90	1.90
	Bw1	20 ~ 55	7.5YR4/4	0	144	493	363	粉砂质黏壤土	45.08	1.65
	Bw2	55 ~ 110	7.5YR5/4	0	199	378	422	黏土	34.46	1.48
黔 11	Ah	0 ~ 10	10YR3/2	30	238	414	348	黏壤土	32.48	2.82
	C	10 ~ 150	10Y2/1	—	—	—	—	—	—	—

2.4 土壤酸化及铝质特性

表 3 结果表明,山地草甸土酸化明显,多数土壤呈现强酸性,即使由碳酸盐岩母质发育的剖面黔 2、黔 4、黔 7、黔 8 和黔 10,也表现出明显的酸性。约有半数土壤的铝饱和度超过了 60%。

2.5 土壤氧化铁组成

表 3 表明,山地草甸土的氧化铁含量因母质不同有较大的差异,总体上,玄武岩、泥岩和碳酸盐岩母质发育的土壤游离氧化铁含量较高,花岗岩、凝灰岩、砂岩发育的土壤游离氧化铁含量较低,多数土壤的氧

表 3 土壤 pH、CEC、氧化铁组成与黏粒硅铝率
Table 3 Soil pH, CEC, composition of iron oxides and siallitic ratio in clay fraction

剖面号	发生层	pH	CEC(cmol/kg)	铝饱和度(%)	盐基饱和度(%)	游离氧化铁(g/kg)	铁游离度(%)	活性铁(g/kg)	新生体	黏粒硅铝率
闽 1	Ah1	4.78	18.76	77.93	13.17	4.21	37.49	1.76	无	—
	Ah2	4.83	15.28	67.84	23.04	4.53	36.12	1.08	无	—
	Bw	5.12	11.43	72.89	14.61	4.87	35.68	1.22	无	2.29
	C	5.33	8.76	60.63	26.37	3.12	30.47	1.03	无	—
闽 2	Ah	4.69	10.65	64.83	17.65	1.8	37.27	2.81	无	—
	Btr	4.76	11.61	78.94	19.46	0.57	4.63	0.95	铁锰斑	2.32
	BC	5.32	4.67	34.83	51.39	0.36	5.16	0.45	无	—
闽 3	Ah	4.44	3.89	69.63	37.28	0.87	14.60	0.22	无	2.61
	C	4.92	3.45	49.63	41.79	0.79	9.97	0.10	无	—
浙 1	Ah1	4.80	19.56	83.65	9.32	8.63	69.60	5.50	无	—
	Ah2	5.10	15.65	76.57	18.64	9.22	43.25	0.33	无	—
	Br	5.30	12.78	64.34	24.51	7.76	21.43	0.04	铁锰斑	2.25
	Cg	5.50	9.76	61.45	22.18	4.46	24.03	0.19	亚铁反应	—
浙 2	Ahg1	4.75	10.28	67.54	27.54	5.68	32.45	2.01	亚铁反应	—
	Ahg2	5.31	27.79	47.68	38.25	8.38	28.97	1.68	亚铁反应	2.34
	G	5.34	25.46	43.43	39.66	8.97	32.41	2.32	亚铁反应	—
	C	5.56	14.90	38.98	43.57	17.45	18.98	3.56	无	—
浙 3	Ah	5.10	15.19	50.50	38.54	11.21	41.23	4.25	无	—
	Br1	5.50	12.11	77.50	19.68	10.32	35.41	0.54	铁锈纹	2.31
	Br2	5.50	11.45	72.40	22.46	12.24	25.42	0.12	铁锈纹	2.39

续表 3

剖面号	发生层	pH	CEC(cmol/kg)	铝饱和度(%)	盐基饱和度(%)	游离氧化铁(g/kg)	铁游离度(%)	活性铁(g/kg)	新生体	黏粒硅铝率
皖 1	Ah	5.54	23.56	31.25	53.68	14.32	32.14	3.24	无	—
	Bw1	4.68	20.14	81.23	11.23	11.65	28.65	1.32	无	3.08
	Bw2	4.34	13.24	84.65	9.78	11.35	34.25	1.11	无	3.01
赣 1	Ah	5.24	32.41	35.64	53.26	16.25	42.32	4.65	无	—
	Bw	5.01	25.66	48.69	43.25	13.25	35.26	3.25	无	2.39
	C	5.18	24.85	42.14	44.23	10.65	24.57	1.21	无	2.59
湘 1	Ah	4.87	32.54	64.56	28.41	14.65	31.25	4.68	无	—
	Bw	5.23	28.96	42.34	46.35	11.32	29.85	3.21	无	2.38
	C	5.34	19.65	37.68	51.24	13.26	19.98	0.45	无	—
黔 1	Ah1	4.55	42.23	76.56	17.35	14.65	31.54	4.52	无	2.57
	Ah2	4.38	35.76	83.45	9.25	15.41	29.87	3.25	无	2.63
黔 2	Ah	5.55	17.89	5.72	77.53	30.19	28.32	3.25	无	—
	AB	5.55	18.33	7.64	73.65	35.91	34.25	2.14	无	2.64
	C	5.56	16.54	5.08	79.18	23.24	21.41	1.33	无	—
黔 3	Ah1	4.32	38.74	38.65	51.35	91.34	28.56	11.54	无	—
	Ah2	4.36	32.56	34.78	56.33	105.52	31.44	5.41	无	—
	AB	4.32	27.61	32.58	51.37	60.92	26.42	6.54	无	2.68
	Bw	4.32	21.45	36.58	50.16	125.64	32.14	4.25	铁锰斑	—
黔 4	Ah1	4.82	18.22	48.42	51.23	15.89	29.87	4.32	无	—
	Ah2	4.62	19.32	42.54	52.14	23.17	25.48	5.26	无	—
	Bt	4.73	17.43	38.35	58.94	14.48	35.47	2.34	无	2.74
黔 5	Ah	5.08	20.14	27.86	61.25	32.85	29.87	3.25	无	—
	Bw	5.08	18.65	38.68	54.22	32.99	24.16	2.41	无	2.62
	Bt	5.46	19.33	21.44	69.87	42.93	31.54	5.24	无	—
黔 6	Ah	5.12	15.64	46.53	51.23	34.52	29.87	4.25	无	—
	Bw	5.22	13.45	42.48	52.74	28.18	26.44	3.65	无	2.79
	C	5.48	—	—	—	—	—	—	无	—
黔 7	Ah	5.00	17.23	23.23	65.47	67.35	45.65	5.41	无	—
	Bw	5.58	15.56	15.58	71.34	95.61	48.56	3.65	无	2.66
	Bt	5.51	25.32	16.32	70.58	76.20	41.25	4.66	无	2.71
黔 8	Ah	4.88	14.68	51.07	38.47	29.57	24.14	6.24	无	—
	Bw	5.10	5.23	29.18	61.25	27.40	19.87	5.44	无	2.69
黔 9	Ah	5.42	21.25	24.52	63.48	70.66	32.14	8.65	无	—
	Bw	4.70	19.94	53.70	37.25	98.52	36.41	4.65	无	2.73
黔 10	Ah	5.25	25.65	35.67	58.66	62.39	35.78	8.54	无	—
	Bw1	5.34	24.37	31.01	62.47	58.54	34.54	3.54	无	2.81
	Bw2	5.32	26.54	33.34	60.28	69.34	37.56	3.14	无	2.84
黔 11	Ah	4.71	16.25	60.00	34.15	24.06	21.45	5.41	无	2.89

化铁游离度在 40% 以下，显示出从原生矿物中释放的氧化铁比例较低，其中黔 2、黔 3、黔 5 和黔 10 剖面的游离氧化铁含量超过了 20 g/kg。无定形氧化铁含量表土普遍较高，向下逐渐下降，这与表土有机质积累量较高而影响氧化铁结晶有关。此外，受季节性渍水的影响，闽 2、浙 1、浙 3 和黔 3 剖面中还可

见少量的铁锰斑纹。

2.6 土壤阳离子交换量、黏土矿物类型及黏粒硅铝率

因有机质的积累，各剖面土壤的 CEC 均呈现由表土向下呈下降的变化规律。但无论是表层还是心土层，土壤 CEC 都较高，换算为黏粒的 CEC 介于

34.52 ~ 180.47 cmol/kg(包括表土),都远高于 24 cmol/kg。用 XRD 法对其中的 9 个剖面土壤的黏土矿物进行了鉴定,结果表明,不同地区的山地草甸土其黏土矿物存在较大的差异。其中,闽 1、浙 1、浙 3 剖面的黏土矿物主要为水云母、高岭石和蛭石,并含有少量的绿泥石和三水铝石;赣 1 和湘 1 剖面主要为水云母、高岭石,含有少量的蛭石 1.4 nm 过渡矿物和三水铝石,皖 1 和黔 9 剖面主要为水云母、蛭石,含少量高岭石和蒙脱石;而黔 5 和黔 10 剖面以水云母为主,其次为高岭石和蛭石,含少量蒙脱石。山地草甸土黏粒硅铝率(Sa 值)普遍较高,在 2.25 ~ 3.08,说明土壤的脱硅富铝化作用较弱。总体上,福建、浙江、湖南等地的山地草甸土 Sa 值较低,而贵州和安徽的山地草甸土 Sa 值较高,显示出前者的风化和脱硅富铝化作用高于后者。

2.7 土壤诊断层和诊断特性

本研究的 20 个山地草甸土脱硅富铝化作用较弱,土壤黏土矿物组成中 1:1 型矿物相对较少,土壤阳离子交换量较高,没有达到铁铝层和低活性富铁

层的诊断要求;但其中有 4 个土壤剖面(闽 2、黔 4、黔 5 和黔 7)其上下质地发生明显变化,具黏化层(表 4)。除闽 3、黔 1 和黔 11 剖面缺乏 B 层(即无雏形层)外,其他剖面(除已出现黏化层的土壤外)均具有雏形层。本研究剖面中共有 5 个形成于碳酸盐岩母质上(黔 2、黔 4、黔 7、黔 8 和黔 10),但只有黔 2 剖面具碳酸盐岩性特征,其他剖面土壤脱钙明显,已明显酸化。浙 2 剖面因分布地形低凹,长期积水,具潜育特征;另外,受季节性滞水的影响,闽 2、浙 1、浙 3 和黔 3 剖面中存在铁锰斑,具氧化还原特征。

山地草甸土有机质积累明显,土壤颜色较深,多数剖面具有暗沃或暗瘠表层(主要为暗瘠表层)。同时,土壤有机质积累向心土层发展,有 14 个剖面具均腐特性(表 4)。由于土壤酸化明显,交换性铝含量较高,20 个剖面中有 6 个具铝质现象。另外,虽然本研究土壤风化较弱,氧化铁游离度基本上在 40% 以下,但对于玄武岩、泥岩和碳酸盐岩母质发育的土壤因母质铁含量较高,其游离氧化铁含量已超过了 20 g/kg,满足铁质特性的要求。

表 4 土壤诊断层、诊断特性
Table 4 Diagnostic horizons and diagnostic characteristics of studied soils

剖面号	暗沃表层	暗瘠表层	淡薄表层	黏化层	雏形层	岩性特征	潜育特征	氧化还原特征	均腐特性	腐殖质特性	铝质现象	铁质特性
闽 1	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-
闽 2	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-
闽 3	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
浙 1	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-
浙 2	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-
浙 3	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-
皖 1	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-
赣 1	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
湘 1	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
黔 1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
黔 2	-	+	-	-	+	碳酸盐岩	-	-	+	-	-	+
黔 3	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+
黔 4	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-
黔 5	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+
黔 6	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+
黔 7	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+
黔 8	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+
黔 9	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+
黔 10	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+
黔 11	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注:表为“+”代表有,“-”代表无。

2.8 土壤诊断分类

在地理发生分类(中国土壤分类系统)中,山地草

甸土是半水成土土纲、淡半水成土亚纲的一个土类^[1],但上述性态分析表明,无论是土体厚度、剖面构型,

还是土壤黏粒迁移淀积、腐殖质剖面积累与淋淀及土壤酸化程度等都有较大的差异,远远超过一个土类的范畴。为此,本文根据中国土壤系统分类(属诊断分类)的检索要求,对 20 个剖面的土壤类别进行了鉴定。结果表明(表 5),20 个剖面可划分为均腐土、潜育土、淋溶土、雏形土和新成土等 5 个土纲,下续分为 6 个亚纲(岩性均腐土、湿润均腐土、滞水潜育土、常湿淋溶土、常湿雏形土、正常新成土)、10 个土类(黑色岩性均腐土、滞水湿润均腐土、黏化湿润均腐土、筒育湿润均腐土、筒育滞水潜育土、铝质常湿淋溶土、滞水常湿雏形土、酸性常湿雏形土、筒育常湿淋溶土、湿润正常新成土)、15 个亚类(表 5)。

其中,闽 3、黔 1 和黔 11 等 3 个剖面因土层浅薄,缺乏 Bw 层,土体构型为 Ah-C,都属于新成土土纲、正常新成土亚纲、湿润正常新成土土类和石质湿润正常新成土亚类。浙 2 剖面在土表至 50 cm 范围内具潜育特征,剖面构型为 Ah-G-C,属于潜育土土纲,为普通筒育滞水潜育土亚类。黔 2、黔 3、黔 4、黔 5 和黔 6 等 5 个剖面因同时具有暗沃表层和均腐殖质特性,土壤盐基饱和度大于 50%,属均腐土土纲。其中黔 2 剖面具碳酸盐岩岩性特征,属普通黑色岩性均腐土亚类。黔 3、黔 4、黔 5 和黔 6 等 4 个剖面属湿润均腐土亚纲,黔 3 剖面中具氧化还原特征、部分土层具潜育现象,并具深厚的暗沃

表层,属暗厚滞水湿润均腐土亚类;黔 4 和黔 5 剖面具黏化层,黔 4 剖面具深厚的暗沃表层,黔 6 剖面无黏化层、暗沃表层较薄,黔 4、黔 5 和黔 6 剖面分别为暗厚黏化湿润均腐土、普通黏化湿润均腐土和普通筒育湿润均腐土。闽 2 和黔 7 等 2 个剖面具黏化层,其剖面构型为 Ah-Bt-C,其土壤水分状况均为常湿润,属于常湿淋溶土亚纲;其中闽 2 剖面土壤酸化明显、铝饱和度,并有腐殖质淋淀现象,属于腐殖铝质常湿淋溶土;而黔 7 酸化较弱,无腐殖质淋淀现象,属于普通筒育常湿淋溶土亚类。研究的 20 个剖面中,有 9 个(闽 1、浙 1、浙 3、皖 1、赣 1、湘 1、黔 8、黔 9 和黔 10)属于雏形土,其土体构型为 A-Bw-C,由于其土壤水分状况相同(常湿润),其亚纲均为常湿雏形土;其中浙 1 和浙 3 剖面因受季节性滞水的影响具氧化还原特征,且浙 3 具暗瘠表层,因此浙 1 和浙 3 剖面分别为普通滞水常湿雏形土亚类和暗色滞水常湿雏形土亚类。闽 1 和皖 1 剖面均具有铝质现象和腐殖质特性,它们的土类和亚类相同,均分别为铝质常湿雏形土和腐殖铝质常湿雏形土。赣 1、湘 1、黔 8 和黔 9 剖面均酸化明显,且黔 8 和黔 9 剖面因具铁质特性,赣 1 和湘 1 剖面属普通酸性常湿雏形土亚类,黔 8 和黔 9 剖面属铁质酸性常湿雏形土亚类;黔 10 剖面为铁质筒育常湿雏形土亚类。

表 5 本研究土壤在中国土壤系统分类中的归属
Table 5 Placement of studied soils in Chinese Soil Taxonomy

土纲	亚纲	土类	亚类	剖面号
潜育土	滞水潜育土	筒育滞水潜育土	普通筒育滞水潜育土	浙 2
均腐土	岩性均腐土	黑色岩性均腐土	普通黑色岩性均腐土	黔 2
	湿润均腐土	滞水湿润均腐土	暗厚滞水湿润均腐土	黔 3
		黏化湿润均腐土	暗厚黏化湿润均腐土	黔 4
			普通黏化湿润均腐土	黔 5
		筒育湿润均腐土	普通筒育湿润均腐土	黔 6
淋溶土	常湿淋溶土	铝质常湿淋溶土	腐殖铝质常湿淋溶土	闽 2
		筒育常湿淋溶土	普通筒育常湿淋溶土	黔 7
雏形土	常湿雏形土	滞水常湿雏形土	暗色滞水常湿雏形土	浙 3
			普通滞水常湿雏形土	浙 1
		铝质常湿雏形土	腐殖铝质常湿雏形土	闽 1、皖 1
		酸性常湿雏形土	铁质酸性常湿雏形土	黔 8、黔 9
			普通酸性常湿雏形土	赣 1、湘 1
		筒育常湿雏形土	铁质筒育常湿雏形土	黔 10
新成土	正常新成土	湿润正常新成土	石质湿润正常新成土	闽 3、黔 1、黔 11

3 讨论

以上分析表明,亚热带山地草甸土具以下共同特性:一是土壤有机质积累过程明显,且有机质分布较深,多数土壤具均腐殖质特性,表层有机质含量多在 50 g/kg 以上,高者可达 150 g/kg,积累深度也可深达 50 cm,这显然与山地草甸土所处环境冷凉、气候常年湿润、土壤含水量较高及草甸植被生长茂密有关^[1,19]。由于草类植被每年可向土壤提供大量的植物残体,但有机物质在这些土壤中分解缓慢,从而使土壤有机质和腐殖质明显富集,形成草根层或草毡层和较厚的腐殖质层。二是土壤矿物的风化度较低,主要表现在多数土壤土体较薄,氧化铁游离度低,高岭石等矿物含量相对较低,具较高的黏粒硅铝率,这与山地草甸土分布海拔较高、温度较低,脱硅富铝化作用较弱有关。冷凉气候条件及频繁的冻融与干湿交替作用下,物理风化作用强,矿物化学风化作用弱,土体中黏粒含量低而粗砂粒、石砾含量高。三是土壤酸化明显,多数土壤呈强酸性,这与山地草甸土质地偏轻、所处环境降水丰富,盐基容易淋失有关^[2-3]。还有,由于山地草甸土分布区降水量大,地势平缓,因此分布在较为低凹的山地草甸土的土体中经常会出现季节性的渍水,土体经常处于氧化还原交替状态,常可见到明显的锈纹锈斑,局部低洼地段还可出现潜育化的土层,显示出土壤形成过程中潜育化和潜育化特征。

本研究表明,在福建、浙江和湖南及江西等地的山地草甸土中还存在三水铝石。土壤中三水铝石的形成有二种途径^[20-22],一是由高岭石进一步分解产生,代表了高度风化的标志^[23-25],并伴随着铝硅酸盐矿物经过脱盐基和脱硅作用,使硅铝率不断降低;二是斜长石初期的风化产物,后者是在适宜的温度和降水条件下,只要母质比较疏松,有利于淋溶作用的进行,溶液中硅酸的浓度又很低,同时有机酸的络合作用不盛,就有可能由斜长石直接分解产生三水铝石,这在我国黄壤黏土矿物研究中已被多个研究所证实^[26-29]。而由于福建、浙江和湖南及江西等地的山地草甸土分布海拔相对较低,常与黄壤交错分布,因此,这些区域的山地草甸土中三水铝石的产生机理可能与黄壤相同,也可能与山地草甸土受周围黄壤物质的影响有关。至于这些土壤同时表现为强酸性、弱脱硅富铝化,原因可能与此类土壤淋溶作用较强有关,易从矿物中释放出的盐基迅速被淋溶,使土壤溶液中保持较低的盐基浓度和较低的 pH 环境,而较低的土壤 pH 会限制硅的溶解,从而影响土壤脱硅,使土壤黏粒的硅铝率较高。

4 结论

我国南方地区的山地草甸土具表层有机质积累明显、颜色普遍呈黑色和深褐色、土壤酸化明显、氧化铁游离度较低、CEC 较高及脱硅富铝化作用较弱等共同特点。但不同样点采集的山地草甸土的土体厚度、剖面构型、黏化状况、有机质垂直分布、氧化铁含量、矿物类型及诊断层和诊断特性均有较大的差异,土体构型有 Ah-C、Ah-Bw-C、Ah-Bt-C 和 Ah-G-C 等类别,超出了—个土类的发生学性状变化的范畴。根据中国土壤系统分类的诊断标准,研究的 20 个剖面可划分为均腐土、潜育土、淋溶土、雏形土和新成土等 5 个土纲,下续分为 6 个亚纲、10 个土类和 15 个亚类。

参考文献:

- [1] 第二次全国土壤普查办公室编. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 72-628
- [2] 贵州省土壤普查办公室编. 贵州省土壤[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1994: 78-100
- [3] 浙江省土壤普查办公室. 浙江土壤[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1994: 184-187
- [4] 王景明, 卢志红, 吴建富, 等. 庐山土壤类型的特点与分布规律[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(6): 1284-1290
- [5] 陈巧敏, 吕萍萍, 林如强. 武夷山山地土壤垂直分异特征及其利用研究[J]. 甘肃农业, 2006(9): 249
- [6] 陈作雄. 广西山地草甸土的形成特点及其理化性质[J]. 热带地理, 1990, 10(2): 132-137
- [7] 孙佩, 袁知洋, 邓邦良, 等. 武功山山地草甸土壤养分的初步分析[J]. 资源环境与工程, 2017, 31(3): 288-294
- [8] 张俊民. 大别山北部地区之土壤[J]. 土壤专报, 1980(37): 187-198
- [9] 李熙波, 雷寿平. 武夷山脉主峰黄岗山两种山地草甸土的研究[J]. 福建地理, 2005, 20(3): 11-13
- [10] 陈丽娜. 武夷山山地草甸土成土因素分析[J]. 辽宁师专学报(自然科学版), 2005, 6(3): 91-92
- [11] 袁颖丹, 李志, 郭晓敏. 武功山山地草甸土壤机械组成特征研究[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(21): 5532-5534, 5556
- [12] 林丽琴. 武夷山土壤氧化铁垂直分布及其成因分析[J]. 湖南农业科学, 2010(17): 70-71, 75
- [13] 陈熙. 武功山退化山地草甸土壤活性有机碳研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2014
- [14] 袁知洋. 基于 GIS 和地统计学的武功山山地草甸土壤养分空间变异研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015
- [15] 段青倩, 樊文华, 吴艳军, 等. 旅游踩踏对五台山北台山地草甸土酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(6): 1441-1446

- [16] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组. 土壤野外描述、水热动态观测方法及土壤信息系统(中国土壤系统分类用)[M]. 北京: 科学出版社, 1991
- [17] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [19] 郭成达. 福建梅花山自然保护区土壤特性及其垂直分布规律[J]. 土壤学报, 1992, 29(4): 427–436
- [20] 许冀泉. 土壤矿物[J]. 土壤, 1983, 15(2): 76–80
- [21] Macias V F. Formation of gibbsite in soils and saprolites of temperate-humid zones[J]. Clay Minerals, 1981, 16(1): 43–52
- [22] Wilke B M, Schwertmann U. Gibbsite and halloysite decomposition in strongly acid podzolic soil developed from granitic saprolite of the Bayerischer Wald[J]. Geoderma, 1977, 19(1): 51–61
- [23] 黄成敏, 龚子同, 杨德涌. 海南岛北部玄武岩发育而成的土壤粘土矿物研究[J]. 西南农业学报, 2001, 14(S1): 1–4
- [24] 蒋梅茵, 杨德涌. 玄武岩发育的几种红壤的矿物特征[J]. 土壤学报, 1991, 28(3): 268–275
- [25] 樊明辉, 孙传敏, 何政伟, 等. 中国南方红壤演化的矿物学特征[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(3): 106–109
- [26] 章明奎, Wilson M J, 何振立, 等. Mineralogical characteristics of some red soils in southern China[J]. 浙江农业大学学报, 1998, 24(4): 113–119
- [27] 向万胜, 李元沅, 张富强, 等. 莽山土壤特性研究[J]. 湖南农学院学报, 1990, 16(3): 272–279
- [28] 刘智杰, 董雪, 张志毅, 等. 九宫山土壤剖面中粘土矿物的组成特征[J]. 土壤, 2017, 49(4): 795–802
- [29] 曾维琪, 殷细宽. 衡山土壤的粘粒矿物[J]. 土壤学报, 1986, 23(3): 243–250, 290

Variation of Pedogenetic Characteristics of Mountain Meadow Soils in Subtropical Region of China and Their Placement in Chinese Soil Taxonomy

ZHANG Mingkui¹, QIU Zhiteng¹, YAO Yucui¹, MAO Xiali¹, YANG Liangyu¹, MA Wanzhu²

(1 College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

2 Institute of Digital Agriculture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: To understand the spatial variations of pedogenetic characteristics and formation processes of mountain meadow soils in subtropical regions of China, 20 representative mountain meadow soil profiles were collected from Fujian, Zhejiang, Jiangxi, Anhui, Hunan and Guizhou provinces. Morphological characteristics of the soil profiles were observed in detail, and the particle composition, content of organic matter, CEC, acidity, forms of iron oxide and the type of clay minerals of the soils were characterized. Their types in Chinese Soil Taxonomy were determined according to diagnostic horizons and diagnostic characteristics of the soils. The results showed that the accumulation of organic matter in surface horizons of the soils was very obvious, and their color was generally black and dark brown with low brightness and chroma. Acidification of the soils was great and the free degree of iron oxide in the soils was mostly less than 40%, while soil CEC was relative higher. However, there were great differences in soil thickness, profile configuration, clayization, vertical distribution of organic matter, iron oxide content, clay mineral type, and diagnostic horizons and diagnostic characteristics among the soils. There were four types of soil configurations, i.e., Ah-C, Ah-Bw-C Ah- Bt-C and Ah-G-C. According to the diagnostic criteria of the Chinese Soil Taxonomy, the studied 20 soil profiles could be divided into 5 soil orders, i.e., Isohumosols, Gleysols, Argosols, Cambosols and Primosols, and were further divided into 6 suborders, 10 soil types and 15 subtypes.

Key words: Mountain meadow soil; Genetic characteristics; Soil formation process; Diagnostic classification