

金沙江干热河谷典型区(云南) 退化土壤的结构性与形成机制

官阿都, 何毓蓉

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 云南金沙江干热河谷区是我国典型的土壤退化区域。通过分析土壤机械组成、团聚体及微团聚体组成、孔隙分布状况等指标, 探讨了土壤结构对土壤退化的影响机制。研究发现: 1. 采用分散率、侵蚀率、团聚度、团聚状况、结构体破坏率、受蚀性指数 E_{VA} 、孔隙度等量化指标可以较好反映土壤退化程度; 2. 土壤颗粒分散特性、土壤水稳性团聚体稳定性、土壤孔隙度是土壤结构稳定性评价的三个重要方面, 也可反映土壤退化特征。

关键词: 土壤结构; 土壤退化; 金沙江干热河谷

中图分类号: S157; S152; S158.1 文献标识码: A

金沙江干热河谷地区作为我国典型的生态脆弱区, 土壤退化十分严重。有关其退化特征和退化机理的文章近年已多见于相关文献^[1~4]。本文拟从土壤结构性方面对不同退化类型土壤进行比较研究, 以探讨土壤结构对土壤退化的影响机制。

1 研究样点与方法

有关金沙江干热河谷区概况已有报道^[1]。供试土壤采自元谋境内广布的燥红土系列和变性土系列不同退化程度的6类土壤。其中, 未退化燥红土(81)、中度退化燥红土(84)及中度退化变性土(82)采自云南省农科院热作所; 重度退化燥红土(71)和重度退化变性土(77)及极重度退化变性土(76)采自元谋县丙间水库周围山丘(坐标 $101^{\circ}35'E \sim 102^{\circ}05'E$, $25^{\circ}25'N \sim 26^{\circ}07'N$)。

有关实验均按常规方法进行^[5]。分别为: 土壤机械组成——比重计法; 微团聚体组成——吸管法; 团聚体组成——干—湿筛法; 容重——环刀法等。

数据计算方法为^[6~8]

$$\text{分散率} = \frac{<0.05\text{mm 微团聚体}}{<0.05\text{mm 机械组成}} \times 100;$$

$$\text{侵蚀率} = \frac{\text{分散率} \times \text{持水当量}}{<0.001\text{mm 胶体含量}};$$

$$E_{VA}(\text{受蚀性指数}) = \frac{\text{分散率}}{(\text{WSA} > 0.5) \times \text{持水当量}}$$

式中 $\text{WSA} > 0.5$ 指 $> 0.5 \text{ mm}$ 水稳性团粒重量百分数; 持水当量指土壤在一个大气压力作用下的持水量, 对非砂性土壤, 可近似看作田间持水量^[9]。

$$\text{结构体破坏率} = \frac{>0.25\text{mm 团粒(干筛-湿筛)}}{>0.25\text{mm 团粒(干筛)}} \times 100;$$

团聚状况 = $> 0.05\text{mm}$ 微团聚体 $\rightarrow > 0.05\text{mm}$ 机械组成;

$$\text{团聚度} = \frac{\text{团聚状况}}{>0.05\text{mm 微团聚体}} \times 100;$$

$$E_{IT}(\text{不稳定团粒指数}) = \frac{W_T - W_{0.25}}{W_T} \times 100$$

式中 W_T 为供试土壤总重量 mg , $W_{0.25}$ 为 $> 0.25 \text{ mm}$ 水稳性团聚体重量 mg 。

土壤抗蚀性是指土壤结构体在水中的稳定性, 影响因子主要是土壤中的粘粒及腐殖质含量^[10], 可以用土壤分散率和结构体破坏率来评价。土壤抗冲性表示土壤抵抗雨滴打击和径流机械破坏的能力^[11]。元谋土壤侵蚀严重, 抗蚀性和抗冲性都很差, 相比之下, 主要表现为抗蚀性较差。

2 结果与分析

2.1 土壤颗粒组成

土壤颗粒是构成土壤结构的主要组分^[12], 燥红土土壤颗粒主要集中于 $0.25 \text{ mm} \sim 0.05 \text{ mm}$ 和 $< 0.001 \text{ mm}$ 这两个粒级范围内。随退化加剧, $0.25 \text{ mm} \sim 0.05 \text{ mm}$ 细砂粒逐渐减少, $< 0.001 \text{ mm}$ 粘

收稿日期: 2000-07-19; 改回日期: 2000-11-28.

基金项目: 中国科学院—云南省院省合作项目, 由云南省科委基础处和省院合作办资助。

作者简介: 官阿都(1976-), 男(汉族), 山东威海人, 在读硕士研究生, 主攻土壤地理专业。

粒逐步增多(见表1)。表明随退化加重,土壤渐趋粘重化,原因可归为:元谋土壤有机质含量低,随退化加剧,土壤微结构变差,抗蚀性和抗冲性下降,土壤分散度加强,粘粒含量增多。另一个趋势是:以0.25 mm~0.05 mm粒级为分界线,<0.05 mm各个粒级含量随退化而递增,平均值为:A层81(10.46%)<84(12.16%)<71(12.90%),B层81(9.69%)<84(11.37%)<71(12.35%),同一土壤剖

面,A层>B层。在>0.05mm的各个粒级上变化趋势恰好相反。对变性土退化系列,<0.001 mm颗粒占绝对优势(介于59.88%~71.42%)。随退化加剧,<0.001 mm粘粒含量递增,土壤明显粘重化。同等退化程度的燥红土与变性土比较,在>0.01 mm粒级上燥红土高于变性土;<0.01 mm粒级则相反,尤其是<0.001 mm颗粒变性土几乎是燥红土的2倍。

表 1 不同退化系列的土壤颗粒组成

Table 1 Particle size distribution of soil in various degradation series

土样 代号 No.	A、B两层土壤不同粒径(mm)土壤颗粒含量 Soil particle(%)													
	1~0.25		0.25~0.05		0.05~0.01		0.01~0.005		0.005~0.002		0.002~0.001		<0.001	
	A ¹⁾	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
81	13.74	15.87	33.96	35.68	9.10	7.12	2.03	3.07	3.04	4.02	11.01	6.22	27.12	28.02
84	8.88	10.57	30.31	32.57	11.03	7.14	4.05	5.03	3.50	4.06	12.00	7.44	30.23	33.19
71	7.08	8.89	28.13	29.38	12.16	9.37	4.44	5.23	3.58	5.46	12.47	8.15	32.14	33.52
82	6.93	5.16	3.75	2.49	1.04	1.03	5.17	8.37	16.55	14.64	1.87	0.43	64.69	59.88
77	0.72	0.42	16.96	12.03	1.25	3.52	3.75	8.14	8.27	10.51	1.19	4.04	67.86	61.34
76	1.93	1.84	9.68	6.77	2.23	1.38	5.56	9.71	7.73	12.33	1.45	1.84	71.42	66.13

1) A为0cm~20cm, B为20cm~40cm, 下同。

2.2 土壤微团聚体组成

土壤微团聚体组成是土壤结构性的一个重要方面,它与土壤有机质含量和土壤质地有密切关系^[9]。燥红土系列微团聚体以>0.005 mm为主,尤其是0.25 mm~0.05 mm范围,含量介于30.85%(71B)~52.71%(81A)之间,而<0.001 mm含量很少,仅占1.06%(81A)~4.94%(71B)(见表2)。随退化加剧,<0.005 mm微团聚体含量逐步增加,A层,由5.98%(81A)→13.18%(84A)→16.48%(71A);B层,由10.34%(81B)→16.79%(84B)→20.83%(71B),这与有机质递减的趋势相反。分析认为:有机质有助于大

团聚体形成;但该地区土壤有机质含量低,同时土壤中蒙脱石、蛭石等膨胀型矿物含量很高,土壤膨胀、收缩强烈,土壤大团聚体不稳定,破坏后转为更小的微团聚体,故<0.005 mm微团聚体逐渐增加。

与燥红土不同的是,变性土系列<0.005 mm细颗粒始终占优势,按含量排列为82B(58.29%)→82A(59.21%)→77A(62.55%)→76A(63.67%)→76B(68.55%)→77B(72.07%),这种趋势与土壤粘粒含量有关。

2.3 土壤团聚体组成

土壤团聚体可以使土壤的松散性和分散性得到改善,同时也可提高土壤的总孔隙度及大孔隙量^[9]。

表 2 不同退化系列的土壤微团聚体组成

Table 2 Microaggregate composition of soil in various degradation series

土样 代号 No.	A、B两层土壤不同粒径(mm)微团聚体组成 Particle composition of microaggregate(%)													
	1~0.25		0.25~0.05		0.05~0.01		0.01~0.005		0.005~0.002		0.002~0.001		<0.001	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
81	29.19	26.51	52.71	50.91	7.94	7.19	4.18	5.05	2.85	4.11	2.07	3.01	1.06	3.22
84	25.33	23.00	38.41	36.26	14.08	13.42	9.00	10.53	6.01	7.13	4.02	5.39	3.15	4.27
71	20.15	18.79	34.84	30.85	16.10	15.12	12.43	14.41	8.42	10.18	4.35	5.71	3.71	4.94
82	4.51	4.70	11.46	6.34	23.78	26.49	1.04	4.18	25.08	32.09	4.14	2.14	29.99	24.06
77	9.43	8.01	12.38	6.82	13.41	5.46	2.23	7.64	31.28	36.04	6.70	9.82	24.57	26.21
76	2.80	2.18	10.38	7.07	29.04	21.76	1.11	5.44	29.04	35.91	8.94	2.18	25.69	30.46

另有研究表明, 土壤中的大团聚体特别是 $> 1\text{ mm}$ 的大团聚体, 是植物良好生长的结构基础^[13]。由表 3, 燥红土 $> 1\text{ mm}$ 大团聚体与土壤退化程度相关, 如 A 层含量排列为 81A (38.72%) $>$ 84A (30.24%) $>$ 71A (18.70%); B 层含量为 81B (33.82%) $>$ 84B (25.15%) $>$ 71B (18.61%); 同一剖面比较, A 层明显高于 B 层, 这与有机质分布趋势能很好对应, 说

明上层的结构优于下层。随退化加剧, $< 0.25\text{ mm}$ 土壤微团聚体表现出以下趋势: 81A $<$ 84A $<$ 71A, 81B $<$ 84B $<$ 71B, 说明退化愈重的土壤, 大团聚体崩解破坏愈严重。

变性土系列的大致趋势与燥红土吻合, 不同之处是同等退化程度的两类土壤, $> 1\text{ mm}$ 团聚体含量变性土远低于燥红土。

表 3 不同退化系列的土壤团聚体组成

Table 3 Aggregate composition of soil in various degradation series

土样 代号 No.	不同粒径(mm)不同层次土壤团聚体组成 Particle size of aggregate(%)													
	10~5 mm		5~3 mm		3~2 mm		2~1 mm		1~0.5 mm		0.52~0.25 mm		<0.25 mm	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
81	5.01	4.61	7.84	8.97	12.03	10.90	13.84	9.34	10.82	7.41	9.88	11.03	40.58	47.44
84	4.16	3.88	5.96	5.57	6.62	5.31	13.50	10.39	10.31	9.76	11.18	14.07	48.27	51.02
71	2.28	2.83	3.22	3.21	6.35	4.91	6.85	7.66	12.60	11.10	14.16	11.62	53.94	58.67
82	2.68	2.90	5.47	1.44	3.41	2.92	5.84	8.88	15.71	13.42	18.89	15.48	48.00	54.96
77	0.48	1.52	3.00	2.87	5.48	1.50	7.81	5.28	12.67	13.22	13.78	14.62	56.78	60.99
76	0.74	0.54	1.58	0.30	3.61	1.96	0.73	2.14	14.71	11.77	18.75	18.21	59.88	65.08

2.4 土壤孔隙分布状况

孔隙是土壤结构性的指标, 土壤结构的好坏, 往往反映在土壤孔性(孔隙的数量和质量)方面, 影响土壤孔性的因素主要有土壤质地、土壤容重、有机质含量^[14]。由表 4 可见, 燥红土和变性土的容重都较高($> 1.43\text{ g/cm}^3$), 说明土壤比较紧实。燥红土总孔隙度随退化变化的趋势不明显, 但孔隙分布较为均匀, 尤以毛管孔隙(0.002 mm ~ 0.02 mm)和通气孔隙($> 0.02\text{ mm}$)这样的良性孔隙占优势, 占总孔隙度的比例为 81A (78.55%) $>$ 81B (73.43%) $>$

84A (70.09%) $>$ 84B (65.44%) $>$ 71B (70.36%) $>$ 71A (63.20%)。同一退化系列, 随退化加剧, 毛管孔隙和通气孔隙递减而非活性孔隙递增, 表明土壤结构变差。同一剖面比较, 毛管孔隙和通气孔隙 A $>$ B, 非活性孔隙 B $>$ A。变性土表现出与燥红土一致的变化特征, 但以非活性孔隙为主($> 40\%$)且通气孔隙度极低($< 10\%$)。同等退化程度的燥红土与变性土比较: 非活性孔隙度后者多于前者, 毛管孔隙度和通气孔隙度前者多于后者。

表 4 土壤含水量、容重与土壤孔隙度

Table 4 The moisture content bulk density and porosity of soil

土样 代号 No.	土壤含水量 Soil moisture content(%)								土壤容重 Soil bulk density (g/cm^3)		土壤孔隙度 Soil porosity(%)							
	吸湿系数 Hygroscopic coefficient		凋萎系数 Wilting coefficient		田间持水量 Field capacity		毛管水含量 ⁽¹⁾ Capillary water capacity				总孔隙度 ⁽²⁾ Total porosity		非活性孔隙度 ⁽³⁾ Noncapillary porosity		毛管孔隙度 ⁽⁴⁾ Capillary porosity		通气孔隙度 ⁽⁵⁾ Aeration porosity	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
81	5.04	5.45	7.56	8.07	25.73	22.81	18.17	14.74	1.37	1.48	48.30	44.98	10.36	11.95	24.89	21.81	13.05	11.22
84	5.59	5.84	8.38	8.76	21.00	19.74	12.62	10.98	1.54	1.63	43.17	41.29	12.91	14.27	19.43	17.90	10.83	9.12
71	7.95	7.00	11.92	10.48	24.34	20.03	12.42	9.55	1.43	1.63	46.44	41.73	17.05	17.08	17.76	15.57	11.63	9.08
82	10.22	9.54	15.33	14.31	29.69	24.95	14.36	10.64	1.37	1.54	48.30	43.17	21.01	22.03	19.67	16.39	7.62	4.75
77	11.79	10.69	17.68	16.03	26.85	24.60	9.17	8.57	1.47	1.55	45.35	42.80	25.99	24.85	13.48	13.28	5.88	4.67
76	14.01	11.03	21.02	16.54	30.54	24.80	9.52	8.26	1.39	1.53	47.94	43.33	29.22	25.30	13.23	12.64	5.49	5.39

(1)毛管水含量=田间持水量-凋萎系数; (2)总孔隙度=(1- $\frac{\text{容重}}{\text{比重}}$) $\times 100\%$; (3)非活性孔隙度=总孔隙度-通气孔隙度-毛管孔隙度;

(4)毛管孔隙度=毛管水含量 \times 容重=(田间持水量-凋萎系数) \times 容重^[13]; (5)通气孔隙度=总孔隙度-田间持水量 \times 容重^[13]。

各种孔隙尤其是通气孔隙和毛管孔隙分布状况直接影响土壤供水和持水性能。随土壤退化加重,

土壤中的这两类孔隙有减少的趋势。其原因是: 退化土壤结构易破坏, 大量细颗粒分散填充、堵塞土壤

孔隙,再加上土壤有机质匮乏,难以形成良好的团粒结构且结构体间的孔隙量低,这些都影响了土壤的孔隙分布,导致土壤水热不调和土壤肥力降低。

2.5 不同退化土壤结构稳定性评价

在评价土壤结构性时,须从两方面考虑,一是从土壤整体看,如土壤结构体数量、类型和土壤孔隙度等,一是从结构体的个体看,主要是团粒和微团粒的数量、品质(稳定性、孔性等)^[14]。

2.5.1 不同退化土壤的颗粒分散特性

通过抵抗水分散的微团聚体与机械组成对比,是反映土壤抗蚀能力大小的主要指标之一^[7]。土壤

分散率、侵蚀率等指标可以很好反映土壤侵蚀和土壤退化的阶段特征。

表5表明,燥红土和变性土均很好地遵从以下规律:土壤越容易分散,则土壤侵蚀危险性越大,土壤退化越严重。这可以通过分散率和侵蚀率比较得出。研究发现:土壤持水当量和胶体含量(尤其是 $<0.001\text{mm}$ 胶体含量)与土壤分散性有密切关系。燥红土 $<0.001\text{mm}$ 的微团聚体含量很低($<5\%$),而 $<0.001\text{mm}$ 的机械组成较高($>25\%$),土壤分散率高;变性土 $<0.001\text{mm}$ 颗粒也有这种情况,只不过变性土的分散率(平均96.70%)远远高于燥红土(平

表5 不同退化系列土壤的机械组成及与团聚体有关的土壤物理性质

Table 5 Aggregation properties and dispersion properties of soil in various degradation series

土样及层次 Samples and layers		各粒径(mm)含量% ¹⁾ soil particle content							
		1~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.002	0.002~0.001	<0.001	>0.05
81	A	29.19 13.74	52.71 33.96	7.94 9.10	4.18 2.03	2.85 3.04	2.07 11.01	1.06 27.12	81.90 47.70
	B	26.51 15.87	50.91 35.68	7.19 7.12	5.05 3.07	4.11 4.02	3.01 6.22	3.22 28.02	77.42 51.55
84	A	25.33 8.88	38.41 30.31	14.08 11.03	9.00 4.05	6.01 3.50	4.02 12.00	3.15 30.23	63.74 39.19
	B	23.00 10.57	36.26 32.57	13.42 7.14	10.53 5.03	7.13 4.06	5.39 7.44	4.27 33.19	59.26 43.14
71	A	20.15 7.08	34.84 28.13	16.10 12.16	12.43 4.44	8.42 3.58	4.35 12.47	3.71 32.14	54.99 35.21
	B	18.79 8.89	30.85 29.38	15.12 9.37	14.41 5.23	10.18 5.46	5.71 8.15	4.94 33.52	49.64 38.27
82	A	4.51 6.93	11.46 3.75	23.78 1.04	1.04 5.17	25.08 16.55	4.14 1.87	29.99 64.69	15.97 10.68
	B	4.70 5.16	6.34 2.49	26.49 1.03	4.18 8.37	32.09 14.64	2.14 0.43	24.06 59.88	11.04 7.65
77	A	9.43 0.72	12.38 16.96	13.41 1.25	2.23 3.75	31.28 8.27	6.70 1.19	24.57 67.86	21.81 17.68
	B	8.01 0.42	6.82 12.03	5.46 3.52	7.64 8.14	36.04 10.51	9.82 4.04	26.21 61.34	14.83 12.45
76	A	2.80 1.93	10.38 9.68	29.04 2.23	1.11 5.56	29.04 7.73	8.94 1.45	25.69 71.42	13.18 11.61
	B	2.18 1.84	7.07 6.77	21.76 1.38	5.44 9.71	35.91 12.33	2.18 1.84	30.46 66.13	9.25 8.61

土样及层次 Samples and layers		团聚状况 (g/kg) Aggregation state	团聚度 (%) Aggregation rate	分散率 (%) Dispersion ratio	侵蚀率 (%) Erosion ratio	持水当量 (g/kg) Moisture equivalent	受蚀性指数 E_{VA} Index of erodibility	>0.5mm 水稳性 团聚体(%) >0.5mm Water stable aggregates
81	A	342.0	41.76	34.61	32.84	257.3	2.72	49.54
	B	258.7	33.42	46.60	38.67	228.1	4.96	41.23
84	A	245.5	38.52	59.63	47.74	210.0	7.00	40.55
	B	161.2	27.20	71.65	51.38	197.4	9.12	34.91
71	A	197.8	35.97	69.47	47.86	243.4	10.40	31.30
	B	113.7	22.90	81.58	53.32	200.3	13.71	29.71
82	A	52.9	33.12	94.08	43.18	296.9	9.57	33.11
	B	33.9	30.71	96.33	40.14	249.5	13.06	29.56
77	A	41.3	18.94	94.98	37.58	268.5	12.02	29.44
	B	23.8	16.05	97.28	39.01	246.0	16.21	24.39
76	A	15.7	11.91	98.22	42.00	305.4	15.05	21.37
	B	6.4	6.92	99.30	37.24	248.0	23.96	16.71

1)表中分数表示法的分子代表土壤微团聚体百分含量,分母代表土壤颗粒组成中该粒径的百分含量

均 60.59%), 排序为 81A < 81B < 84A < 71A < 84B < 71B < 82A < 77A < 82B < 77B < 76A < 76B。

团聚状况可近似表示土壤机械成分团聚的程度^[5]。燥红土团聚状况(平均 219.82g/kg)远大于变性土(平均 29.0g/kg), 前者是后者的 7.58 倍, 可见燥红土结构明显优于变性土。

最后归结于 E_{VA} (受蚀性指数), 可以明显看出: 在同一退化系列内, 退化加重, E_{VA} 增加。在同一剖面内, 下层的 E_{VA} (平均 13.50) 高于上层 (平均 9.46), 在同等退化程度的两大系列土壤间比较, 变性土的 E_{VA} (平均 14.98) 高于燥红土 (平均 7.99)。

通常, 分散率、侵蚀率、 E_{VA} 等指标与土壤片蚀有关, 从元谋退化土壤的研究发现: 这些指标与土壤抗蚀性呈负相关关系, 主要原因是退化加剧, 土壤有机质含量降低, 细粘粒增多, 易造成片蚀。

2.5.2 不同退化土壤的水稳性团聚体稳定性

一般认为: 土壤水稳性团聚体含量越少, 平均粒径越小, 则稳定性越差。对表 6 分析后发现: 无论是

燥红土还是变性土, 干筛时以大颗粒为主, < 0.25mm 颗粒很少, 尤其是变性土, 平均仅占 1.11%; 而浸水湿筛后, 大颗粒迅速破坏、崩解, 小颗粒急剧增加, 说明土壤抗蚀性能很低。

同一退化系列, 随退化加剧, < 0.25mm 水稳性团聚体含量逐渐增加, 燥红土表现为 81A < 81B < 84A < 84B < 71A < 71B, 平均含量 A 层 476.0g/kg, 平均递增率 15.35%, B 层 523.8g/kg, 平均递增率 11.27%; 变性土表现为 82A < 82B < 77A < 77B < 76A < 76B, 平均含量 A 层 548.9g/kg, 平均递增率 11.88%, B 层 603.4g/kg, 平均递增率 8.84%。可见, 同等退化程度的两大系列土壤比较, < 0.25 mm 水稳性团聚体含量变性土高于燥红土; 在同一土壤剖面内, B 层高于 A 层。

作为两个重要指标, 结构体破坏率和不稳定团聚体指数 E_{IT} 均显示随退化而增加的趋势, 而从另两个重要指标 > 0.5 mm 和 > 1 mm 水稳性团聚体含量看, 恰与之相反, 随退化逐渐减少。

表 6 不同退化系列土壤的机械组成及与水稳性团聚体有关的土壤物理性质

Table 6 Composition and stability of waterstable aggregates of soil in different degradation series

土样及层次 Samples and layers	各粒径(mm)含量 ¹⁾ soil particle content										A	B	C	D	E
	a ²⁾	b	c	d	e	f	g	h	i						
81	A	34.14 —	16.89 5.01	7.81 7.84	10.76 12.03	5.56 13.84	4.06 10.82	6.58 9.88	14.20 40.58	85.80 59.42	21.10	30.75	387.2	495.4	30.75
	B	36.34 —	18.29 4.61	8.06 8.97	10.98 10.90	5.21 9.34	5.01 7.41	5.30 11.03	10.81 47.44	89.19 52.56	9.39	41.07	338.2	412.3	41.07
84	A	38.69 —	13.92 4.16	5.70 5.96	10.91 6.62	5.95 13.50	4.64 10.31	3.43 11.18	16.76 48.27	83.24 51.73	7.25	37.85	302.4	405.5	37.85
	B	41.00 —	22.46 3.88	12.38 5.57	5.76 5.31	3.06 10.39	2.05 9.76	2.44 14.07	10.85 51.02	89.15 48.98	3.92	45.06	251.5	349.1	45.06
71	A	40.65 —	15.24 2.28	11.96 3.22	4.17 6.35	3.16 6.85	4.30 12.60	6.31 14.16	14.21 53.94	85.79 46.06	4.21	46.31	187.0	313.0	46.31
	B	48.67 —	8.29 2.83	7.96 3.21	7.54 4.91	3.13 7.66	5.10 11.10	4.55 11.62	14.76 58.67	85.24 41.33	6.18	51.51	186.1	297.1	51.51
82	A	35.46 —	31.78 2.68	14.41 5.47	1.01 3.41	7.66 5.84	6.15 15.71	2.12 18.89	1.41 48.00	98.59 52.00	9.63	47.26	174.0	331.1	47.26
	B	49.0 —	24.00 2.90	12.00 1.44	1.25 2.92	7.25 8.88	4.50 13.42	1.40 15.48	0.60 54.96	99.40 45.04	5.16	54.69	161.4	295.6	54.69
77	A	38.89 —	18.45 0.48	8.02 3.00	10.03 5.48	7.45 7.81	11.46 12.67	4.42 13.78	1.28 56.78	98.72 43.22	5.46	56.22	167.7	294.4	56.22
	B	42.45 —	19.11 1.52	10.73 2.87	8.85 1.50	7.57 5.28	7.86 13.22	2.37 14.62	1.06 60.99	98.94 39.01	4.56	60.57	111.7	243.9	60.57
76	A	46.73 —	18.18 0.74	6.80 1.58	5.17 3.61	5.59 0.73	9.32 14.71	6.01 18.75	2.20 59.88	97.80 40.12	2.44	58.98	66.6	213.7	58.98
	B	57.51 —	14.32 0.54	5.96 0.30	5.43 1.96	5.51 2.14	8.76 11.77	1.00 18.21	1.51 65.08	98.49 34.92	2.52	64.54	49.40	167.1	64.54

1) 表中分数表示法代表干筛百分含量;
湿筛百分含量;

2) a~i 分别代表粒径为 > 10mm, 10~5mm, 5~3mm, 3~2mm, 2~1mm, 1~0.5mm, 0.5~0.25mm, < 0.25mm, > 0.25mm 的土壤粒子; A~E 分别代表: 有机质 Organic matter (g/kg); 结构体破坏率 Ratio of structure deterioration (%); > 1mm 水稳性团聚体含量 > 1mm Waterstable aggregate (g/kg); > 0.5mm 水稳性团聚体含量 > 0.5mm Waterstable aggregates (g/kg); E_{IT} Index of unstable aggregate (%).

分析得出:因燥红土和变性土有机质含量很低,缺乏有机胶结,团聚体稳定性差。再加上燥红土 0.25 mm~0.05 mm 细沙含量很高(占土粒 57.5%~69.5%),其在水作用下消散作用强,使土壤结构在水中易崩解、破碎。所以土壤大颗粒水稳性团聚体含量越低,土壤受侵蚀越强,退化越严重。

另有研究表明,水稳性团粒含量与有机质及 <0.001 mm 颗粒含量关系密切^[9],这在元谋退化土壤上得到很好的印证。

2.6 土壤结构对土壤退化的影响

从土壤颗粒组成、团聚状况、有机质、分散率、侵蚀率、团聚度、结构体破坏率、容重、孔隙度、 E_{VA} 、 E_{IT} 、水稳性团聚体含量等指标分析后发现:土壤结构与土壤退化密切相关,互相影响。综合以上指标可以看出土壤结构导致土壤退化的主要机理是:

一方面,由于燥红土和变性土有机质含量低,土壤结构体品质差,团聚体、微团聚体稳定性差,孔隙组合不合理;另一方面,土壤颗粒组成缺陷,如:燥红土的细砂粒含量高,消散作用强;变性土的粘粒含量高,尤其蒙脱石、蛭石等膨胀型矿物比重过大,土壤胀缩过于剧烈,破坏孔隙和结构^[3]。以上这两方面因素共同作用使土壤物理性状变差,土壤结构体稳定性尤其是水稳性降低,分散性增强,小粒径颗粒增加,另外土壤分散而形成的小颗粒填充堵塞土壤孔隙,使土壤变得紧实,容重增大,孔隙度减少,结构进一步趋劣,进而加重退化,造成土壤紧实化、变性化、粘重化、粗骨化、障碍层高位化、贫有机质化等退化现象出现^[15,16]。

另外,研究表明,土壤抗蚀性的主导因子是土壤有机质含量和土壤粘粒含量(尤其是<0.001mm 颗粒含量),相应地,土壤结构稳定性也依赖于土壤有机胶体的粘合力与土粒间聚力^[9]。该区土壤退化严重,土壤有机质含量低,有机胶体粘合力较低,所以土壤结构性不良,土壤抗蚀性弱,加重了土壤退化进程。

3 讨 论

1. 从土壤受蚀性指数 E_{VA} 看,总体上能较好反映出随退化加剧, E_{VA} 指数增大这一趋势,但 E_{VA} 值偏低,这与以往文献^[7,12]不同,从理论上分析 E_{VA} 值也应该较大。

2. 各种指标分析结果表明:尽管燥红土与变性土由两类不同母质发育而来,但在燥红土系列退化最严重的 71 与变性土系列退化最轻的 82 之间比较,各种指标很接近,应理解为二者结构和退化情况类似,但如何寻找二者共同的退化特征和退化机理,将燥红土和变性土退化联系起来,尚需进一步研究。

3. 有关土壤抗蚀、抗冲性能与土壤退化结构指标的关系及各指标的数理统计分析还有待今后进一步的工作。

致谢:承蒙西南农业大学资源环境学院宋光煜教授、杨万勤博士及山地所张丹副研究员协助,谨表谢忱。

参考文献:

- [1] 何毓蓉,张丹,等.金沙江干热河谷区云南土壤退化过程研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):1~5.
- [2] 刘淑珍,黄成敏,张建平.云南元谋干热河谷区的土地荒漠化特征与原因[J].中国沙漠,1996,15(1):1~7.
- [3] 何毓蓉,徐建忠,黄成敏.金沙江干热河谷区变性土的特征及系统分类[J].土壤学报,1995,32(增刊),102~110.
- [4] 何毓蓉,张丹,宫阿都.长江上游退耕还林区的土壤退化与肥力重建[J].山地学报,2000,18(6):526~529.
- [5] 中科院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
- [6] 田积莹,黄义端.子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀性能指标的初步研究[J].土壤学报,1964,12(3):286~296.
- [7] 杨玉盛,何宗明等.不同治理模式对严重退化红壤抗蚀性影响的研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(2):32~37.
- [8] 刘进金.土壤受蚀性之定性定量[J].中华林学季刊,1984,17(1):93~105.
- [9] 劳家桢.土壤农化分析手册[M].北京:农业出版社,1998,12.
- [10] 王佑民,郭培才,等.黄土高原土壤抗蚀性研究[J].水土保持学报,1994,8(4):11~16.
- [11] 陈明华,周伏建,等.土壤可蚀性因子的研究[J].水土保持学报,1995,9(1):19~24.
- [12] 杨玉盛,何宗明,等.不同生物治理措施对赤红壤抗蚀性影响的研究[J].土壤学报,1999,36(4):528~535.
- [13] 孙波,张桃林,赵其国.我国中亚热带缓丘区红粘土红壤肥力的演化,Ⅰ.物理学肥力的演化[J].土壤学报,1999,36(1):35~47.
- [14] 朱祖祥.土壤学(上册)[M].北京:农业出版社,1983.
- [15] 何毓蓉,黄成敏,宫阿都,等.金沙江干热河谷典型区(云南)土壤退化机理研究,Ⅰ.母质特性对土壤退化的影响.水土保持学报[J],2000,6(4).
- [16] 何毓蓉,黄成敏,张丹,等.金沙江干热河谷典型区土壤退化机理[J].山地学报,2001,19(5)(待出版).

The Structure Feature and Formation Mechanism of the Degraded Soil in Dry-Hot Valley Region of the Jinsha River, Yunnan Province, China

GONG A-du and HE Yu-rong

(Institute of Mountain Hazards & Environment, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041 China)

Abstract: In order to find the relationship between soil structure and soil degradation, these indexes including dispersion ratio, erosion ratio, aggregation rate, aggregation state, structure deterioration ratio, erodibility index (E_{VA}), soil porosity were studied in this paper. The result indicated that:

1. Soil dispersion ratio, erosion ratio, E_{VA} , aggregation rate and aggregation state ect. can reflect dispersion properties of soil particle. Dispersion ratio, erosion ratio and E_{VA} were positively interrelated to soil degradation, while aggregation rate and aggregation state were negatively interrelated to soil degradation.

2. The ratio of soil structure deterioration, index of unstable aggregate (E_{IT}), $> 1\text{mm}$ waterstable aggregate and $> 0.5\text{mm}$ waterstable aggregate can embody stability of soil waterstable aggregate. The front two factors were positively interrelated to soil degradation, while the back two factors were negatively interrelated to soil degradation.

3. As soil degradation was aggravated, soil antierodibility and soil antidispersion lowered. The degradation of soil in Yuanmou county, Yunnan Province mainly displayed soil antierodibility was lower, which is concerned on soil organic matter and soil clay quantity.

Key words: soil structure; soil degradation; dry-hot valley of the Jinsha River

中科院成都山地灾害与环境研究所 2002 年硕士、博士招生信息

1. 硕士招生信息(招生人数 12 人)

学科代码	研究方向	考试科目
070501	自然地理学	
01	泥石流	① 101 英语 ② 201 政治(理) ③ 314 高等数学(丁) ④ 401 自然地理学或 461 结构力学或 462 生态学 ⑤ 562 地貌与第四纪地质或 566 流体力学或 567 水土保持学或 568 土力学
02	滑坡	同上
03	山地侵蚀	同上
04	山地生态环境研究	① 101 英语 ② 201 政治(理) ③ 314 高等数学(丁) ④ 401 自然地理学 ⑤ 561 普通生态学
070502	人文地理学	① 101 英语 ② 201 政治(理) ③ 314 高等数学(丁) ④ 401 自然地理学 ⑤ 564 经济地理
070503	地图学与地理信息系统	① 101 英语 ② 201 政治(理) ③ 314 高等数学(丁) ④ 401 自然地理学或 569 地图学与 GIS ⑤ 563 遥感概论
090301	土壤学	① 101 英语 ② 201 政治(理) ③ 314 高等数学(丁)或 352 土壤微生物或 353 农业生态 ④ 402 土壤学 ⑤ 565 土壤农化分析
02	土壤地理	① 101 英语或 102 俄语或 103 日语 ② 201 政治(理) ③ 351 普通地质学 ④ 402 土壤学 ⑤ 565 土壤农化分析

(下转 269 页)