

第四纪红粘土区侵蚀土壤退化机理研究

杨 艳 生

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 土壤退化过程总是从环境劣化开始,进而使土壤剖面形态毁损和土质变坏,并逐步使自然肥力消失。土壤环境的劣化表现为植被衰败,从常绿阔叶林→针阔叶混交林→稀疏马尾松和草灌→裸地,与此同时,土壤剖面形态从具有完整发生层 A—B—C 构型,逐步形成仅有 B—C 构型,最后仅剩 C 层,土质的变坏表现为土内的板实,表层抗冲、抗蚀性能减弱。土壤物质的流失,贮水能力的下降,有效水容量降低和土壤养分元素的流失等。从中可以看到,土壤退化中最主要的是土壤贮水性能下降和养分元素的明显流失两条。因此,土壤反退化亦应从这两方面着手。

关键词 第四纪红粘土 土壤退化 水土流失

Research on Soil Deterioration Mechanism in Quaternary Red Clay Region

Yang Yansheng

(Institute of Soil Science, Academia Sinica Nanjing 210008)

Abstract The initial stage of soil deterioration is from the process of soil environment worsening with destruction of soil genetic horizon and decline of soil characters and soil fertility vanishing gradually at last. The soil environment worsening shows in decline of vegetation coverage on land surface. The vegetation types change from original broad-leaved evergreen forest, coniferous-broad mixed forest, pinus massoniana-sparse shrub and herbosa to naked land finally. Meanwhile, structure pattern of soil profile with integral genetic horizons A-B-C turns gradually to B-C or only C horizon in profile structure. Worsening of soil characters exhibits compactness in soil top layer, weakening of anti-erodibility and anti-washability, loss of soil material, decreasing of water-holding capacity, lowering of available moisture content and loss of nutrient elements in soil etc.. It can be cognized that the key points in the soil deterioration are both the decrease of soil water-holding capacity and loss of nutrient elements obviously in soil erosion process. So for soil conservation, the resistance to soil deterioration must be initiated with solving the two problems.

Key words quaternary red clay soil deterioration soil and water loss

在不利的自然因素和不合理的人为活动影响下,土壤环境恶化,自然剖面形态毁损,肥力衰减,由此使土壤熟化过程受阻,肥力要素间调节能力减弱,对环境的适应能力降低,最终造成生产力下降或自然肥力消失,这就是自然土壤退化的一般性过程。第四纪红粘土发育的红壤(主要指非耕作土壤)普遍存在着退化现象。产生退化的主要原因是水土流失。在严重的水土流失区,土壤流失量达到 $7\ 000\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 以上。本文将对此类红壤退化的原因进行初步探讨。

1 土壤退化环境的形成

土壤退化是从土壤环境的恶化开始的。第四纪红粘土区地形多为浅丘,地面较平坦;但由于丘陵地形的起伏,形成 $10\sim 20^\circ$ 不等的地面坡度;第四纪红粘土区靠近居民密集区,区内人为活动频繁。在生产力不高,人口增长过快的情况下,人为不合理活动必然使土壤环境产生破坏。人为不合理活动主要有:滥开坡地、破坏植被、铲草积肥。土壤环境退化的主要表现就是地表植被的破坏和退化。根据我国植被分布规律,我国南方第四纪红粘土区,属中亚热带常绿阔叶林地带。但是目前这一植被类型已很少见,而代之以普遍常见的马尾松稀疏草灌植被。根据蔡守坤等(1992)^[1]的研究,依退化系列,主要植被类别如下:

(1)常绿阔叶林。目前仅以小块存在,在此类型内,除有高大的乔木生长外,林下有多种灌木。地表有枯枝落叶植被覆盖。主要植物种类有:乔木:苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、木荷(*Schima superba*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、枫香(*Liquidambar formosana*)。灌木:映山红(*Rhododendron simsii*)、白栎(*Quercus fabri*)、山刺柏(*Juniperus formosana*)、乌饭(*Vaccinium bracteatum*)、黄栀子(*Gardenia jasminoides*)、黄端木。

(2)针阔叶混交林。这是常绿阔叶林破坏后经抚育而成的次生林,目前分布较普遍,但所占面积比例不大,此林被多为乔木幼树、灌木和草类组成,地表无地被物。主要植物种类有:乔木:马尾松(*Pinus massoniana*)、木荷、苦槠、石栎。灌木:映山红、赤楠(*Syzygium buxifolium*)、乌饭、黄栀子、白檀(*Symplocos paniculata*)、草本:白茅(*Imperata cylindrica*)、地苕、真蕨。

(3)马尾松稀疏灌草丛,这是普遍常见的植被类型,它同土壤贫瘠,生境干旱相适应,主要植物种类有:乔木:马尾松。散生灌木:黄栀子、白檀、算盘子(*Glochidion puberum*)。草本:野古草(*Arundinella hirta*)、四脉金茅(*Eulalia quadrinervis*)、白茅、画眉草(*Eragrostis pilosa*)、假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)。

(4)旱生草类或裸地:地表基本上没有植被,或仅有稀疏的耐旱性强的草类,如白茅等生长。

2 土壤剖面形态的毁损

在山丘坡面上,随着植被的破坏,水土流失即已开始。土壤侵蚀的发展,使具有完整发生土层A—B—C剖面构型的土壤,逐步的使A层、B层丧失,仍至C层部分丧失。实际上,由于人们铲草积肥的习惯,在植被破坏到50%左右时,土壤A层已不存在,而使得B层出露地表,随着土壤发生A层和B层的逐步被流失^[2],土壤侵蚀程度随之加剧,侵蚀速度随之加快,这同前发生土层具有的不同抗蚀性能有关。

2.1 A层保留较好的土壤

在水土流失区,保留1/2以上A层厚度的土壤,称它为轻度侵蚀土壤。从野外调查可见,侵蚀轻微的残积A层一般在20cm左右,A层内土壤有机质含量通常为 $>12\%$ ($<3\%$ 时仍为

低含量), $<0.25\text{mm}$ 团聚体(湿筛下同)在 45%以上,其中 $0.05\sim 0.01\text{mm}$ 团聚体和 $<0.01\text{mm}$ 团聚体和占比例约为 30%(见表 1);30min 内土壤透水速度达 $1\text{mm}/\text{min}$ 以上;土壤团粒的水稳性指数达 50%~90%,因而具有良好的抗冲、抗蚀性能。

2.2 B 层保留较好的土壤

当保留 1/2 以上 B 层厚度的土壤,称它为中度侵蚀土壤。从剖面观察与调查发现,完整的发生 B 层可厚达 50cm 左右。在具有 A—B—C 完整发生层剖面中,同 A 层相比,B 层内虽然有机质含量较少约 $5\sim 20\text{g}/\text{kg}$,但粘粒含量较高, $<0.01\mu\text{m}$ 粘粒含量多在 40%以上,甚至高达 70%,30min 内土壤透水速度为 $45\text{mm}/\text{h}$ (见表 2、1); $<0.25\text{mm}$ 团聚体在 40%以下,其中 $0.05\sim 0.01\text{mm}$ 和 $<0.01\text{mm}$ 团聚体分别约 $500\text{g}/\text{kg}$ 和约 $20\text{g}/\text{kg}$,与 A 层有明显差异;土壤团粒的水稳性指数达 10%~50%,可见 B 层土壤亦具有较好抗冲蚀性能。

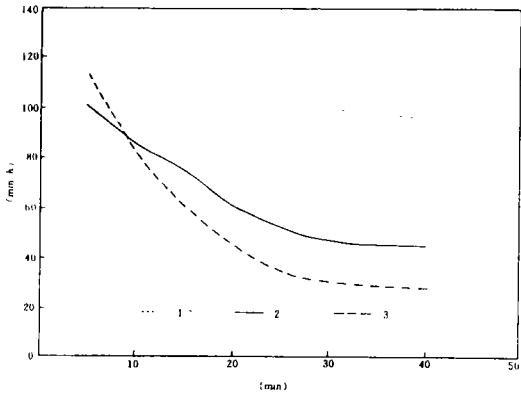


图 1 不同发生层裸露地的透水速度

表 1 不同发生土层与侵蚀有关的土壤指标值

土壤剖面结构	透水性 mm/min	抗冲 指数	水稳性指数 (%)	有机质含量 (g/kg)	$<0.25\text{mm}$ 表层团聚体 (%)		
					总量	其中 $0.05\sim 0.01$	其中 <0.01
A	1~5	>0.7	50~90	>20	40~45	30	30
B	0.5~1	>0.7	10~50	$5\sim 20$	20~40	50	2
C	<0.5	$0.5\sim 0.7$	5~10	<5	10~20	55	1

表 2 地表不同发生土层的透水状况

透水历时(min)		5	10	15	20	25	30	40
刺槐	渗水 1cm 历时(min)	5.0	5.5	5.8	6.0	6.0	6.0	6.3
	渗水量(cm^3/min)	51	46	44	42.5	42.5	42.5	40.5
	渗速(mm/h)	120	110	103	100	100	100	95
林地	渗水 1cm 历时(min)	6.0	7.1	7.8	10.0	11.5	13.3	/
	渗水量(cm^3/min)	42.5	35.9	32.7	25.5	22.2	19.2	/
	渗速(mm/h)	100	85	77	60	52	45	/
铲草皮	渗水 1cm 历时(min)	5.3	7.5	10.0	13.3	18.2	20.0	21.4
	渗水量(cm^3/min)	48.1	34.0	25.5	19.2	14.0	12.8	11.9
	渗速(mm/h)	113	80	60	45	33	30	28

表 3 表层与下层土壤抗冲性、抗蚀性比较

冲穴号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	结果
表层	深	0.5	0.5	0.7	0.2	1.2	2.0	0.2	0.2	0.5	2.2	0.94
	宽	0.5	1.0	0.8	1.0	1.5	2.0	0.5	0.5	0.5	1.2	
下层	深	0.5	0.3	0.3	1.0	1.0	1.5	0.3	0.4	0.2	0.3	1.40
	宽	1.0	1.0	0.5	0.5	2.0	2.0	1.0	0.3	0.5	0.5	
浸泡时间(min)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
散落土粒		17	3	0	5	0	0	0	0	0	0	28.05
(总 50 粒)		5	3	0	0	3	0	0	0	0	0	41.05

表 4 径流小区各次降雨水土流失观测结果

日/月	降雨量 (mm)	雨水容积 (m ³)	径流量 (m ³)	径流 系数	径流含沙量 g/500ml	县移质泥 沙量(kg)	推移质量 (kg)	小区 号 *
20/1	27.8	15.64	0.212	0.014	0.2	0.08	/	A
		4.07	0.471	0.12	0.5	0.47	/	B
26/1	41.2	23.18	0.743	0.032	0.4	0.59	/	A
		6.03	0.854	0.14	1.5	2.56	11.3	B
3/3	45.3	25.48	0.982	0.039	0.4	0.79	/	A
		6.63	1.354	0.20	1.2	3.25	16.6	B
5/3	13.0	7.31	0.122	0.017	0.1	0.02	/	A
		1.90	0.265	0.14	0.6	0.32	/	B
8/3	15.3	8.61	0.823	0.10	0.4	0.66	/	A
		2.24	1.060	0.47	2.2	4.66	11.2	B
13/3	33.9	19.07	1.327	0.07	/	/	/	A
		4.96	1.060	0.21	1.8	3.82	/	B
15/3	12.3	6.92	0.504	0.073	0.2	0.20	/	A
		1.80	0.318	0.18	0.6	0.38	/	B
21/3	38.8	17.32	1.911	0.11	0.2	0.76	/	A
		4.51	0.942	0.21	1.0	1.88	2.59	B
27/3	47.4	26.66	5.522	0.21	0.6	6.63	/	A
		6.93	2.945	0.43	3.8	22.38	54.9	B
30/3	71.8	40.39	6.107	0.15	0.4	4.89	/	A
		10.50	3.534	0.34	0.9	6.36	19.4	B
5/4	23.4	13.16	2.846	0.22	0.1	0.57	/	A
		3.42	1.796	0.53	0.4	1.44	/	B
17/4	47.7	26.83	5.242	0.20	0.4	4.19	/	A
		6.98	3.098	0.44	4.0	24.78	87.8	B
19/4	21.3	11.98	0.345	0.029	0.1	0.07	/	A
		3.12	0.530	0.17	0.3	0.32	/	B
27/4	35.4	19.91	1.513	0.076	0.2	0.61	/	A
		5.18	1.236	0.24	0.4	0.99	/	B
28/4	50.2	28.24	6.900	0.24	0.4	5.52	/	A
		7.34	3.15	0.43	1.0	6.30	25.1	B
29/4	58.8	33.08	0.75	0.02	0.3	0.45	/	A
		8.60	3.56	0.41	1.4	9.97	73.8	B
5/5	59.2	33.30	5.94	0.18	0.1	1.19	/	A
		8.65	2.65	0.31	0.4	2.12	3.0	B
7/5	63.3	35.61	9.77	0.27	0.1	1.59	/	A
		9.26	3.41	0.37	0.75	5.12	36.1	B
23/5	53.0	29.81	1.842	0.061	0.3	6.11	/	A
		7.75	1.325	0.17	5.6	14.84	38.1	B
6/6	30.6	17.21	0.621	0.036	0.4	0.50	/	A
		4.48	1.655	0.37	2.0	6.62	13.5	B
9/6	35.7	20.08	1.328	0.066	0.2	0.53	/	A
		5.22	1.001	0.19	0.4	0.80	12.4	B
8/8	49.9	28.06	0.558	0.020	1.5	1.67	/	A
		7.30	1.414	0.19	3.3	9.33	73.5	B
6/9	55.1	30.99	0.664	0.021	1.9	2.52	/	A
		8.06	1.060	0.13	3.1	6.58	39.0	B
8/9	29.6	16.65	1.195	0.072	0.65	1.55	/	A
		4.33	2.33	0.54	2.7	12.58	114.5	B
总数或 平 均	956	535.49	57.83	0.097	0.40	41.69	0	A
		137.27	41.02	0.29	1.66	147.87	632.79	B

* A. 有水保措施的小区, 面积 562.5m²; B. 无水保措施小区, 面积 146.3m²。

2.3 C 层出露的土壤

这类土壤称为严重或剧烈侵蚀土壤。第四纪红粘土发育的红壤的发生 C 层多为网纹红土层,一般其厚度均在 1m 以上;有机质含量<5g/kg, <0.25mm 团聚体<20%,其中 0.05~0.01mm 和<0.01mm 团聚体分别为 550~600g/kg 和 10g/kg 左右,土壤团粒水稳性指数 5%~10%,土壤抗蚀性能显著降低。

实验表明,后发生土层当它裸露出地表,经太阳暴晒后,土壤的抗冲性和抗蚀性都明显减弱。如果裸露地表的网纹红土层和下部埋藏的网纹红土层,进行土壤抗冲性和抗蚀性测试,结果表明(见表 3),暴晒后抗冲性从 1.40 降至 0.96。土壤团粒的水稳抗蚀指数从 41.05 降至 28.05。因此土壤经暴晒,结构受到破坏,变得更松散而易被径流冲蚀,极干后稀湿细粘土会发生液化而整层流动。经测定,网纹红土层出露的面蚀、沟蚀区,每年每平方公里流失的土量达 6 000t 以上,如 1991 年测出的流失土量达 6 403t/(km²·a)相当于年流失表土层 0.5cm。

3 土壤肥力的衰减

土壤退化总是伴之以肥力的衰减,并且是以土壤结构解体和细粒物质、养分元素流失开始,同时使土壤物理性状劣化^[4]。

3.1 土壤板结过程

土壤随侵蚀而退化,土壤流失的过程也是退化的过程,在此过程中土壤表现出更加的板结,明显的反映在表层土壤粘粒含量增高和透水性不良上。通常轻度侵蚀的表土层具有较好的结构,<0.002mm 的粘粒含量约 400g/kg,而心土层一般粘粒含量是多在 500g/kg 以上(表 5),因此,随 A 层的流失,土壤表层粘粒含量增高,又由于缺乏有机质,使之结构不良,经雨滴和径流冲刷后变得板结,同有 A 层的土壤比较,透水性能大为降低。如在渗水 40min 时,刺槐林地渗入 1cm 水层需 6.3min,而网纹红土裸地需 21.4min。

表 5 轻度侵蚀土壤表层(I)、小区土壤表层(Ⅰ)和流失泥沙(Ⅱ)颗粒组成(mm,g/kg)

	<0.002	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	0.1~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.002
I	4	17	24	92	125	182	80	64	412
Ⅰ	1	3	8	47	70	208	55	63	546
Ⅱ	5	10	13	35	150	208	82	81	416

3.2 粘粒存在形式

第四纪红土有很高的粘粒含量,而且这些粘粒大多以大于细砂粒的大小存在。从团聚体分析(表 6)可见,对较轻度的土壤,粗于细砂粒的团聚体(>0.25mm)达 53.8%,小于细砂粒的团聚体为 46.2%。对剧烈侵蚀土壤,前者达到 84.9%;而后者只为 15.1%。此外,从表 7 可见,轻度和剧烈侵蚀土壤用干筛法测得的团聚体大致相等,分别为 97.9%和 98.6%,而湿筛法测出的团聚体量则有明显差别。为了说明团聚体的形成和稳定性差异,对铁铝氧化物和它们的活性也作了分析(表 7),表明剧烈侵蚀土壤中 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 的含量明显高于轻度侵蚀土壤,而且两类氧化物的活性也明显较低。因此可以认为铁铝二、三价氧化物是构成剧烈侵蚀土壤表层团聚体的主体,而且具有较高的水稳性。这类较粗的水稳性颗粒过量的存在,并不利于土壤水分和养分的保持,特别不利于土壤有效水分的贮存和保持。

表 6 轻度侵蚀(Ⅰ)和剧烈侵蚀土壤(Ⅱ)的团聚体组成

各级微团聚体含量(mm,%)										
代号	采样深度 (cm)	2~1	1~0.5	0.5~ 0.25	0.25~ 0.1	0.1~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.002	<0.002
Ⅰ	0~22	0.5	2.5	4.1	16.9	16.9	29.7	10.9	3.7	14.8
Ⅱ	0~10	0.3	2.8	5.4	24.0	9.1	57.2	0.4	0.8	0
各级团聚体含量(mm,%)										
代号	采样深度 (cm)	>5	5~3	3~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	>0.25	<0.25	
Ⅰ	0~22	0	1.2	1.3	4.5	19.1	27.7	53.8	46.2	
Ⅱ	0~10	31.8	15.0	8.9	8.7	11.5	9.0	84.9	15.1	

表 7 表层土壤铁铝氧化物和团聚体分析结果

项目	烧失量 (g/kg)	Fe ₂ O ₃ (g/kg)		Al ₂ O ₃ (g/kg)		<0.002 mm 粘粒	团聚体>0.25mm (g/kg)		团聚体<0.25mm (g/kg)	
						(g/kg)				
		全量	活性	全量	活性		干筛	湿筛	干筛	湿筛
轻度侵蚀土壤	61.7	54.3	3.1	149.9	4.1	412	979	538	21	462
剧烈侵蚀土壤	65.2	80.6	2.2	189.7	2.9	546	986	849	14	151

3.3 团聚体的分解流失

在流失区野外观测可见,凡粉砂层土壤都易于流失。而剧烈侵蚀土壤的表面经夏季阳光暴晒,极易成为微粒状疏松土粒。从暴晒后侵蚀土壤和流失物的颗粒分析,微团聚体分析(表 8)表明,表层土壤流失物颗粒组成和微团聚体组成都十分相近,而且它们的微团聚体都主要是细砂和粉砂粒。这就充分说明,第四纪红粘土在植被破坏后,虽然土壤中粘粒含量高,且易板实,但又极易随径流而流失,尤在久干之后遇有暴雨冲刷。

表 8 剧烈侵蚀土壤和流失泥沙的颗粒组成和微团聚体分析

土壤类别	分析类别	2~0.2mm	0.2~0.02mm	0.02~0.002mm	<0.002mm
暴晒后表层	颗粒组成	8	298	182	512
5cm 土壤	微团聚体	39	933	28	—
流失泥砂 1	颗粒组成	9	254	201	536
	微团聚体	42	927	31	—
流失泥砂 2	颗粒组成	9	280	201	510
	微团聚体	56	920	24	—

3.4 不同粒径土壤的养分元素分析,土壤颗粒的流失伴之以土壤养分的流失

土壤颗粒是以团聚体状态而存在。分析表明,用干筛法测得的>0.25mm 的团聚体都占 97%以上(见表 9),但是用湿筛法测得的轻度侵蚀土壤>0.25mm 的团聚体仅占 53.8%,也就是说在湿筛情况下,差不多有一半的>0.25mm 的团聚体将分解成<0.25mm 的团聚体。现将来自胡枝子、苦楝、桉树和刺槐林下的表土取混合样,用干筛法取<0.15mm(过 100 孔筛),0.15~0.25mm(过 60 孔筛)和 0.25~0.84mm(过 20 孔筛)的不同粒径土样进行养分分析,结果如表 10。结果表明,土壤有机质、全氮、水解氮、全钾和速效钾含量有随土壤粘结性增大其含量增大的趋势,这或许可以有机质的胶结性能部分得到解释。但是在降雨条件下,这类土粒将有一半产生解体,而形成更细小的土粒而流失,土壤养分也随之流失。

表 9 干筛法测出的>0.25mm 的土壤团聚体(g/kg)

土类	轻度侵蚀土壤			强度侵蚀土壤			剧烈侵蚀土壤	
深度(cm)	0~22	22~78	78~100	0~30	30~56	56~78	0~10	10~100
团聚体	979	973	—	969	970	978	986	—

表 10 不同粒径土壤的营养分析

类别	利用状况	O. M. (%)	Total(%)			Available		Hyd. N mg/100g	CEC m. e/ 100g	pH (H ₂ O)
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅			
						mg/100g	mg/kg			
I 混合	E1	0.49	0.050	0.055	1.25	7.9	0.50	9.20	9.20	4.82
	2	0.27	0.036	0.051	1.31	5.4	Tr.	7.81	10.10	4.79
	3	0.38	0.036	0.050	1.26	7.6	Tr.	7.81	10.70	4.80
	4	0.36	0.042	0.078	1.27	7.4	24.8	7.81	11.59	4.81
	5	0.65	0.059	0.057	1.27	7.8	4.50	9.20	11.39	4.85
	Average	0.43	0.045	0.058	1.27	7.2	/	7.81	10.60	4.81
II 100 孔 ≤0.15 mm	E2	0.51	0.052	0.051	1.26	7.7	1.55	12.43	9.26	/
	2	0.30	0.035	0.069	1.30	5.8	1.50	7.43	9.46	/
	3	0.36	0.045	0.049	1.28	7.3	1.65	8.10	10.37	/
	4	0.42	0.042	0.055	1.23	7.4	2.23	8.11	9.66	/
	5	0.49	0.038	0.061	1.25	8.0	3.80	7.43	10.33	/
	Average	0.42	0.042	0.057	1.26	7.2	2.15	8.7	9.82	/
III 60 孔 ≤0.25 mm	E3	0.51	0.048	0.057	1.26	9.0	1.60	12.16	9.08	/
	2	0.30	0.037	0.069	1.27	7.8	1.55	8.11	9.37	/
	3	0.39	0.042	0.058	1.29	9.1	1.45	9.46	10.37	/
	4	0.47	0.044	0.043	1.26	9.3	2.25	9.46	9.71	/
	5	0.75	0.050	0.042	1.31	9.4	3.80	10.81	10.81	/
	Average	0.48	0.044	0.054	1.28	8.9	2.13	10.00	9.87	/
IV 20 孔 ≤0.84 mm	E4	0.63	0.053	0.044	1.22	9.3	1.50	10.81	9.46	/
	2	0.32	0.039	0.041	1.31	6.8	1.60	10.81	9.85	/
	3	0.41	0.043	0.045	1.28	8.8	1.35	9.46	10.62	/
	4	0.46	0.045	0.050	1.30	9.8	2.20	10.81	9.75	/
	5	0.87	0.054	0.052	1.36	9.6	3.20	9.76	10.91	/
	Average	0.54	0.047	0.046	1.29	8.7	1.97	10.33	10.12	/
各类别平均值										
I		0.43	0.045	0.058	1.27	7.2	/	7.80	10.60	/
II		0.42	0.042	0.057	1.26	7.2	2.15	8.70	9.82	/
III		0.48	0.044	0.054	1.28	8.9	2.13	10.00	9.87	/
IV		0.54	0.047	0.046	1.29	8.7	1.97	10.33	10.12	/

3.5 流水物中的养分含量

在水土流失过程中,液体部分的流失和固体部分的流失都伴随土壤养分的流失,根据径流水中的元素分析,流失元素的绝对量最大的是钾、钠、硅、钙,其含量变幅为 5~15mg/kg,其中氮、磷、钾在水中的含量分别为 2.87、0.03 和 13.6mg/kg。同土壤中元素含量对比,水中流失量相对值较大的依次为钙、氮、钠、钾、磷(见表 11),可见在养分元素中,氮和钾随水的流失还是相当严重,在固体径流中,各养分元素含量均大于流失区表层,土壤中的含量,而且水解氮和速效钾也是相对流失量最高的两个元素(见表 12)。

表 11 剧烈侵蚀小区的径流水中各元素含量(mg/kg)

样品号	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO (10 ⁻³)	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Tot. N	P ₂ O ₅
1	9.14	65.5	0.055	22.3	0.68	0.07	45.0	71.0	2.67	0.35
2	8.02	23.0	0.090	10.5	0.49	0.43	25.0	48.0	2.13	0.05
3	19.7	13.4	0.028	14.4	0.23	0.20	49.0	40.0	6.12	0.04
4	6.82	34.4	1.60	26.2	0.42	4.00	137.5	48.0	5.79	0.05
5	8.74	8.47	0.951	17.7	0.44	0.14	7.0	7.0	2.24	0.01
6	8.17	7.12	0.162	1.90	0.44	0.44	13.5	10.0	3.09	0.01
7	14.5	8.07	0.155	10.1	0.31	0.44	13.4	13.8	1.63	tr.
8	11.2	7.22	0.014	4.72	0.58	0.18	8.7	11.4	2.06	0.03
9	4.21	6.67	0.042	tr.	0.19	0.05	5.7	6.8	3.28	tr.
10	3.70	7.20	0.034	1.37	0.24	0.06	6.0	9.0	2.33	0.01
11	6.06	2.73	0.028	8.44	0.27	0.05	3.4	5.3	3.64	tr.
12	5.49	3.82	0.018	4.82	0.21	0.05	3.0	4.2	1.54	tr.
13	3.76	6.98	0.066	0.51	0.27	0.11	3.0	8.2	2.74	tr.
14	3.29	3.86	0.121	7.15	0.36	0.76	2.4	6.6	2.58	0.03
15	1.25	4.36	0.064	2.55	0.14	0.16	1.4	1.6	2.88	tr.
16	1.46	2.46	0.085	14.5	0.12	0.05	1.2	1.4	1.66	0.01
17	2.69	4.21	0.088	17.4	0.21	0.07	1.8	2.4	2.61	tr.
18	11.5	5.02	0.034	10.9	0.32	0.44	5.8	6.0	3.69	/
19	1.84	4.46	tr.	tr.	0.15	0.04	2.0	1.9	3.07	/
20	1.99	4.19	0.029	tr.	0.16	0.05	1.5	2.0	2.48	/
21	2.29	5.16	0.022	tr.	0.13	0.05	2.5	2.5	2.62	/
22	2.34	4.48	0.000	tr.	0.10	0.03	1.9	2.4	2.37	/
23	5.06	3.92	0.039	tr.	0.17	0.06	2.8	3.7	2.83	/
平均	6.23	10.5	0.123	0.0075	0.0288	0.345	14.9	13.6	2.87	0.03
S	4.67	14.0	0.318	0.0078	0.153	0.801	29.1	18.4	1.10	0.08
Cv(%)	73.3	134.1	258.0	111.9	53.1	232.2	194.8	135.4	38.4	266.7
土壤*	0.3	619.6	80.6	0.2	7.5	189.7	12.9	2.1	0.26	0.7
水/土	2066.67	1.69	0.15	3.80	3.87	0.18	78.84	647.62	1103.8	4.29

* 土壤中各元素含量单位为 g/kg;水中元素含量单位为 mg/kg; * 水/土表示水中各元素含量与土中各元素含量之比乘上 10⁻⁵。

3.6 土壤有效含水量

土壤的退化还表现在有效含水量的显著衰减。表 13 列出了轻度、中度和剧烈侵蚀土壤在不同吸持力下的土壤含水量。从中可以看到,土壤有效水(0.025×10⁵~15×10⁵Pa 时)含量,轻度和中度侵蚀土壤比剧烈侵蚀土壤要高出一倍左右。可见土壤有效水容量的减少亦是土壤退化的重要反映。从上述分析可以看出,土壤退化的一般过程如下:

3.6.1 土壤植被的破坏 由常绿阔叶林→针阔叶混交林→稀疏马尾松、草灌→裸地。

3.6.2 土壤剖面构型的毁损 随着植被的逐步破坏,土壤从具有完整的 A—B—C 构型逐步蜕变成消失 A 层,消失 B 层,最后 C 层也遭到严重流失。

3.6.3 土壤肥力的退化 植被的破坏,地被物的消失,导致地表保水能力下降,冲刷力增强。土壤表层裸露经暴晒后,抗冲、抗蚀性能大为降低,使水土流失量随 A 层至 B 层逐步被流失而明显加剧。在流失物中,水的流失携带有相当的可溶性养分元素,土的流失带走了比原土壤剖面表层较高的养分含量的土粒,这就使得土壤结构破坏,养分贫瘠和保水能力下降;最终导致自然肥力消失。

表 12 固体径流中养分元素含量(g/kg)

样品号	有机质 O. M.	全氮 (N)	全磷 (P ₂ O ₅)	全钾 (K ₂ O)	速效钾(K ₂ O) (mg/kg)	水解氮 (mg/kg)
1	/	/	0.08	2.30	43.0	38
2	/	0.042	0.12	2.18	34.0	69
3	/	0.086	0.10	1.89	16.0	55
4	/	0.040	0.13	2.04	34.0	41
5	/	0.042	0.10	1.89	16.9	48
6	/	0.035	0.16	1.81	20.4	48
7	/	0.047	0.11	1.88	19.2	/
8	/	0.052	0.14	1.83	16.8	55
9	/	0.040	0.10	1.65	24.0	62
10	/	0.040	0.13	1.76	10.2	103
11	/	0.036	0.10	1.68	10.0	83
12	/	0.037	0.16	1.69	11.6	65
13	0.30	0.040	0.15	1.92	9.6	59
14	0.25	0.043	0.13	1.83	9.0	106
15	/	0.048	0.14	1.82	25.0	123
16	/	/	0.16	1.99	50.5	/
17	0.36	0.039	0.15	1.75	8.8	61
18	0.20	0.037	0.18	1.71	10.0	87
19	0.32	0.039	0.14	1.91	7.2	91
20	0.31	0.039	0.13	1.77	7.2	77
21	0.36	0.039	0.13	1.90	8.0	58
22	0.30	0.043	0.14	1.82	9.0	97
23	/	/	0.11	1.81	10.8	103
24	0.37	0.046	0.13	1.99	9.2	108
25	/	/	0.14	1.93	/	/
26	/	/	/	/	10.4	/
27	/	0.042	0.08	1.87	12.0	72
28	0.28	0.037	0.07	1.67	9.0	74
29	/	0.046	0.09	1.64	8.6	105
30	/	/	0.14	2.23	18.6	/
31	/	/	0.14	2.72	10.4	141
32	/	0.054	0.09	1.93	9.8	113
33	/	0.045	0.10	2.09	12.8	106
平均	0.31	0.044	0.12	1.90	15.88	80
n	10	26	32	32	33	28
土壤	0.30	0.028	0.07	1.29	5.1	39
固/土	1.03	1.57	1.71	1.4	3.11	2.05

参考文献

- 1 蔡守坤,杨开红.红壤生态站植被图概述.红壤生态研究(第1集),科学出版社,1992,52~62
- 2 陈志城,季耿善等.红壤生态站土壤类型及背景土壤图概述.红壤生态研究(第1集),科学出版社,1992,33~57
- 3 杨艳生等.第四纪红粘土流失区的产沙量分析.红壤生态系统研究(第2集),江西科学技术出版社,1993,330~343
- 4 杨艳生,史德明编著.数值分析和土壤侵蚀研究.东南大学出版社,1992,123~130