

# 南亚热带丘陵湿润铁铝土结构退化及其机理\*

钟继洪 谭 军 郭庆荣 骆伯胜 卓慕宁 黄湘兰

(广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650)

**摘 要** 本文探讨了南亚热带丘陵湿润铁铝土结构退化过程特征及其机理。结果表明, 与地带性自然植被下丘陵湿润铁铝土比较, 次生植被或人工植被下丘陵湿润铁铝土结构退化现象明显。表现在表土砂化, 即砂粒含量相对增加, 粘粒含量相对减少; 土壤结构稳定性下降, 主要体现在较大粒径水稳性团聚体减少; 土壤孔隙性变差, 主要体现在容重增加和较大孔径的孔隙减少。对自然湿润铁铝土而言, 容重增加、较大孔隙减少更为明显; 对耕型湿润铁铝土而言, 土壤结构稳定性下降, 表土砂化更为突出。数理统计分析结果表明, 养分贫瘠化, 特别是有机质减少, 是丘陵湿润铁铝土结构退化的主要内在因素。

**关键词** 丘陵湿润铁铝土, 结构退化, 机理

**中图分类号** S152

丘陵湿润铁铝土(赤红壤)广泛分布于我国亚热带地区, 在广东省境内有 658 万公顷, 占全省土壤总面积 44.67%<sup>[1]</sup>, 在原生自然植被(季风常绿阔叶林)条件下, 丘陵湿润铁铝土由于土壤与植被相互促进作用, 肥力较高。但目前丘陵湿润铁铝土的原生植被大多已被破坏而为次生或人工栽培植被所代替, 水土流失严重, 加之人类不合理活动的影响, 因此其理化性质退化严重。

关于红壤物理退化问题研究, 我国散见于各种文章的报道不少<sup>[1~8]</sup>, 但系统的研究还不多见。为此, 我们在原有工作积累基础上, 进行了丘陵湿润铁铝土物理退化及其机理研究, 本文将着重讨论丘陵湿润铁铝土的结构退化及其机理问题。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集

本研究在我省鼎湖山、广州五山、博罗县、深圳等地区采集了一批土壤样品, 经选择后, 对其中 19 个代表土样进行了结构性质等测定。各土样代表的利用方式、采集部位、成土母质详见表 1 所示。

### 1.2 土壤结构的测定

颗粒组成用吸管法; 孔隙及其分布用当量孔隙测定仪测定; 团聚体用 Н.И. 萨维诺夫湿筛法; 土壤容重用室内环刀法; 有机质用油浴加热  $-K_2Cr_2O_7$  容重法; 以上方法详见文献 [9, 10]。其他一些补充的方法

\* 中国科学院广州分院、广东省科学院院长基金, 国家人事部非教育系统留学回国人员科技活动择优资助项目

收稿日期: 1998-01-20; 收到修改稿日期: 1998-12-18

见正文所述。

表1 丘陵湿润铁铝土的颗粒组成

Table 1 Particle size distribution of hilly Udic ferral soils

田间号 Sample No.	采样地点、 部位 Sampling location	母岩 Parent material	利用现状 Pattern of utilization	采样深度 Depth (cm)	>3mm 砾石 Gravel (g/kg)	颗粒组成 (g/kg)(粒径: mm)			<0.01mm 物理性粘粒 Physical clay (g/kg)
						Particle size distribution			
						3~0.05 砂粒 Sand	0.05~0.001 粉粒 Silt	<0.001 粘粒 Clay	
鼎阔	鼎湖山西南坡 海拔约300m	砂页岩	季风常绿	0~12	191.0	229.0	567.2	205.6	562.8
			阔叶林	12~24	18.8	218.6	529.0	253.2	559.6
鼎针	鼎湖山西北坡 海拔约200m	砂页岩	马尾松针叶林	0~12	21.6	278.1	502.2	188.6	467.3
				12~21	2.3	220.3	497.3	282.4	548.4
光08	深圳光明场	砂页岩	稀树草坡	0~14	46.0	284.0	530.0	178.0	438.0
				14~30	8.0	213.0	484.0	303.0	600.0
光10	深圳光明场	花岗岩	稀树草坡	0~30	144.0	615.0	258.0	127.0	265.0
				30~90	166.0	593.0	194.0	213.0	313.0
光11	深圳光明场	砂岩	稀树草坡	0~12	29.0	642.0	212.0	146.0	311.0
				28~50	54.0	477.0	307.0	216.0	459.0
五山3	广州五山仙霞 岭西北坡坡麓	花岗岩	稀树草坡	0~15	4.0	499.3	221.7	279.0	450.0
				15~30	0.0	454.7	229.9	315.4	477.0
五山1	广州五山仙霞 岭西北坡坡麓	花岗岩	种鱼藤	0~15	5.0	591.7	195.5	212.8	331.9
			30多年	15~30	22.8	528.2	199.5	272.3	415.2
五山2	广州五山仙霞 岭西北坡坡麓	花岗岩	豆类连作	0~15	0.0	661.7	205.8	132.5	281.7
			30多年	15~30	3.8	639.0	205.4	155.6	318.3
T <sup>1)</sup>	博罗下村场	花岗岩类	稀树草坡	表土	4.9	560.8	375.9	63.3	296.4
				亚表土	12.0	501.5	399.3	99.2	355.5
T13	博罗下村场鱼刃 山东北坡坡麓	花岗岩类	梯地撩荒	0~16	1.4	531.7	322.6	145.7	400.3
T16	博罗下村场大窝 岭东南坡坡麓	花岗岩类	稀树草坡面蚀	0~12	234.1	577.2	372.6	50.2	193.5
T1	博罗下村场长排 岭南坡坡麓	花岗岩类	种荔枝、黄皮等	0~20	0.0	680.7	111.4	207.9	274.0
				20以下	0.0	561.2	119.4	319.4	396.8
T5	博罗下村场茶山 西坡坡腰	花岗岩类	种柑桔、荔枝等	0~16	0.0	627.9	158.7	213.4	309.5
				16~50	0.0	493.6	212.4	294.0	423.1

1) 为T4、T6、T7、T8、T9、T11各点平均值; 采样部位; T4为大窝岭南坡坡腰, T6、T7、T8分别为大窝岭西北坡坡腰、坡脊、坡麓, T9为鸳鸯山东坡坡腰, T11为公桔岭东坡坡腰; 除鼎湖山为低山外, 其余采样点为缓坡低丘。

## 2 结果与讨论

### 2.1 丘陵湿润铁铝土结构退化特征

土壤结构性是指土壤中单粒和复粒(包括结构体)的数量、大小、形状、性质及其相互

排列和相应的孔隙状况等的综合特性<sup>[11]</sup>。土壤结构性退化通常表现为团聚体稳定性下降, 孔隙性(包括孔隙大小分布、孔隙连续性)变差。从研究结果来看, 在人类不合理活动影响下, 丘陵湿润铁铝土结构退化现象明显, 但自然土与耕型湿润铁铝土结构退化的特征并不完全相同。

2.1.1 表土砂质化 作为构成土壤结构的物质基础, 土壤颗粒组成对土壤结构性有直接影响。因此, 在研究土壤结构退化时, 有必要对土壤颗粒组成的变化加以探讨。

表土砂质化是指表土层砂粒含量相对增多的过程。由表 1 的测定结果不难看出: 丘陵湿润铁铝土在自然植被(季风常绿阔叶林)演替成为次生植被(如稀疏松林灌丛草坡)或为人工开垦利用种植豆类等旱作或种植果树类后, 往往出现表土砂化或粉砂化现象。如博罗下村场和深圳光明农场的丘陵湿润铁铝土, 表土 3~0.05mm 的砂粒含量比下伏土层的高 20~165g/kg; <0.001mm 粘粒含量绝大多数比下伏土层的低 70g/kg 以上。而自然林下湿润铁铝土(鼎阔)的这种差异要小一些: 表土的 3~0.05mm 的砂粒含量比下伏土层的高约 10g/kg, <0.001mm 粘粒含量比下伏土层的低 47g/kg。

经开垦利用后, 丘陵湿润铁铝土表土砂化现象一般要比无明显侵蚀的自然土严重, 这是丘陵湿润铁铝土表土砂化的一个重要特点。如对广州五山、博罗下村场的湿润铁铝土的数理统计分析结果表明: 耕型湿润铁铝土表土 <0.01mm 物理性粘粒含量为  $229.2 \pm 23.0$ g/kg, 显著地低于下伏土层的  $388.4 \pm 41.6$ g/kg ( $t=3.483 > t_{0.01} = 3.143$ ); >0.05mm 砂粒含量为  $640.5 \pm 33.9$ g/kg, 接近显著地高于下伏土层的  $555.5 \pm 53.8$ g/kg ( $t=2.314 \approx t_{0.05} = 2.447$ )。而自然湿润铁铝土的上述差异虽然同样存在, 但没达到显著水平 ( $t_{>0.05\text{mm 砂粒}} = 1.944 < t_{0.05} = 2.228$ ;  $t_{<0.01\text{mm 粘粒}} = 1.541 < t_{0.05} = 2.228$ )。此前我们进行的定位试验研究结果也证明了这一重要特点<sup>[7]</sup>。

从以上结果来看, 如何防止耕型湿润铁铝土表土砂化, 将是土壤学和生产实践必须解决的重要课题。

2.1.2 土壤团聚体稳定性下降 土壤团聚体的稳定性在形成和保持良好的土壤结构上极端重要。我们用 Н.И. 萨维诺夫湿筛法测定的丘陵湿润铁铝土水稳性团聚体结果见表 2。从表 2 的分析结果来看, 丘陵湿润铁铝土团聚体稳定性下降存在两种情况。

一是丘陵湿润铁铝土在开垦利用后, 其团聚体的水稳性下降明显。对广州五山、博罗下村场湿润铁铝土的数理统计分析结果表明, 耕型湿润铁铝土表土的水稳性团聚体总量或是反映团聚体组成的几何平均直径(GMD)<sup>[12]</sup>值都显著地低于自然湿润铁铝土 ( $t_{\text{团聚体总量}} = 2.679 > t_{0.05} = 2.201$ ;  $t_{\text{GMD}} = 2.227 > t_{0.05} = 2.201$ )。这表明耕型湿润铁铝土较大粒径的团聚体可能已遭到破坏。这种现象在其他文献中也有报道<sup>[2]</sup>。

二是与耕型湿润铁铝土不同, 自然湿润铁铝土团聚体水稳性下降虽然有一些, 但不很明显。数理统计分析结果表明, 与自然植被下湿润铁铝土(鼎 1、鼎 2)比较, 次生植被-稀树草坡下湿润铁铝土(T 系列、光系列、五山系列土壤)表土的水稳性团聚体总量和反映团聚体组成的几何平均直径(GMD)值都没有明显且呈规律性减少的现象 ( $t_{\text{团聚体总量}} = 1.32 < t_{0.05} = 2.262$ ;  $t_{\text{GMD}} = 0.057 < t_{0.05} = 2.262$ )。这种状况可能与湿润铁铝土中含有较多无定形铁铝三氧化物有关, 因为铁铝三氧化物-腐殖质反应与土壤团聚体的稳定性直接相关<sup>[12]</sup>。

表2 丘陵湿润铁铝土水稳性团聚体状况

Table 2 The status of water stable aggregates of hilly Udic ferral soils

田间号 Sample No.	采样深度 Depth (cm)	团聚体组成 (g/kg) (粒径: mm)						>0.25mm 团聚体 Aggregate (g/kg)	GMD (mm)	有机质 O.M. (g/kg)
		Aggregate size distribution								
		10~5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	<0.25			
鼎阔1	0~10	299.4	171.6	89.5	134.1	67.3	238.1	761.9	2.68	49.8
	10~20	113.3	125.4	126.7	261.1	112.2	261.3	738.7	1.54	13.7
鼎阔2	0~10	378.5	149.3	72.3	88.2	45.8	265.9	734.1	3.45	54.1
	10~20	205.2	137.1	111.9	197.1	94.5	254.2	745.8	1.90	17.4
针 1	0~10	34.01	160.1	74.5	89.1	64.7	271.5	728.5	3.92	30.3
	10~20	205.1	178.5	95.7	153.3	106.6	260.8	739.2	2.04	15.4
光 08	表土	376.0	151.0	109.0	99.0	39.0	226.0	774.0	-	-
	心土	345.0	122.0	93.0	93.0	42.0	305.0	695.0	-	-
光 10	表土	165.0	33.0	113.0	168.0	61.0	460.0	540.0	-	-
光 11	表土	182.0	82.0	102.0	170.0	70.0	394.0	606.0	-	-
	心土	14.0	30.0	70.0	209.0	88.0	589.0	411.0	-	-
T <sup>1)</sup>	表土	482.7	128.8	69.2	108.9	54.4	156.0	844.0	3.72	21.5
	亚表土	271.2	144.3	81.3	196.5	71.5	235.2	764.8	2.40	10.6
T 13	0~16	36.8	111.4	122.9	349.1	108.9	270.9	729.1	1.08	13.5
T 16	0~12	333.7	155.9	88.9	116.0	75.5	230.0	770.0	2.81	20.5
T 1	0~20	193.4	127.8	148.7	217.1	106.9	206.1	793.9	1.75	11.4
	20以下	3.6	94.6	152.6	368.9	117.2	263.1	736.9	0.96	7.6
T 5	0~16	254.2	124.1	105.6	163.2	66.9	286.0	714.0	2.31	18.6
	16~50	28.5	63.1	241.3	345.2	84.2	237.7	762.3	1.07	8.5
五山 3	0~10	176.0	108.9	83.7	153.7	123.1	354.6	645.4	1.75	13.1
	10~20	7.2	33.8	53.6	168.5	241.5	495.6	504.6	0.68	11.0
五山 1	0~10	16.2	60.8	52.9	257.9	156.7	455.5	544.5	0.84	22.9
	10~20	15.4	514.0	56.8	303.9	151.6	420.9	579.1	1.09	21.8
五山 2	0~10	8.6	28.8	38.8	124.1	190.6	609.1	390.9	0.81	18.6
	10~20	5.4	18.1	38.5	175.1	183.2	574.3	425.7	0.65	14.9

1) 除光08、光10、光11外,其余土壤团聚体含量中不包括>0.25mm的砂粒;为T4, T6, T7, T8, T9, T11各点平均值。

当然,丘陵自然湿润铁铝土团聚体稳定性下降是肯定的。这一点,由以下的进一步分析结果可以得到更有力的证明。根据湿筛法, Russell 和 Feng (1947)<sup>[13]</sup>曾按不同周期时间,将盛有土壤样品的筛放在水中上下振荡,最后发现团聚体稳定性与振荡时间长短,呈下列方程所示指数关系:

$$\text{Log } W = a - b \log T$$

式中  $W$  是水稳性团聚体的重量,  $T$  是振荡时间;  $a$  是振荡时间为零时的  $\log W$ , 称“原始稳定性”;  $b$  是回归方程的斜率, 称崩解速率。原始稳定性高, 崩解速度低的土壤, 具有稳定性的团聚体。

表3 用水浸泡30分钟后丘陵湿润铁铝土团聚体变化

Table 3 Changes of aggregates size distribution of hilly Udic ferrallic soils submerged for 30 minutes

田间号	采样深度	团聚体组成 (g/kg) (粒径: mm)							减幅 <sup>1)</sup>	有机质
Sample No.	Depth (cm)	Aggregate size distribution							Decrement (%)	O.M. (g/kg)
		10~5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	<0.25	>0.25		
鼎阔1	0~10	208.4	45.8	18.8	21.7	9.8	695.5	304.5	60.0	49.8
T11	0~16	229.6	22.4	12.0	14.5	9.0	712.5	287.5	67.3	18.2
T9	0~10	85.5	23.6	24.7	27.1	25.2	813.9	186.1	75.6	18.2

1) 10~0.25mm团聚体与湿筛法(用水湿润10分钟)测定结果比较

参照 Russell 等的做法,我们将丘陵湿润铁铝土若干代表土样用水浸泡 30 分钟(水土比为 5:1),再按不同周期时间,将盛装土壤样品的三角瓶置于振荡机(150 次/min)振荡后进行分筛。其结果见表 3、图 1。从表 3 可知,在用水浸泡 30 分钟的情况下,丘陵湿润铁铝土 10~0.25mm 团聚体含量均比用 H.И.萨维诺夫湿筛法测定的结果减少,但次生植被丘陵湿润铁铝土(T11、T9)的降幅要比自然植被下丘陵湿润铁铝土(鼎阔 1)的降幅大。图 2 显示,所有土壤的 10~0.25mm 团聚体含量都随振荡时间增加而减少,但次生植被下丘陵湿润铁铝土(T11、T9)的减少得要更快一些。进一步的数理统计分析表明,上述土壤团聚体稳定性与振荡时间长短,分别呈下列指数方程关系:

$$\text{Log } W(\text{鼎阔 1}) = 2.506 - 0.244 \log T (r = -0.985^{**})$$

$$\text{Log } W(\text{T11}) = 2.487 - 0.330 \log T (r = -0.986^{**})$$

$$\text{Log } W(\text{T9}) = 2.263 - 0.268 \log T (r = -0.993^{**})$$

显然,从方程可见,次生植被下湿润铁铝土(T11、T9)的“原始稳定性(a)”较低,“崩解速度率(b)”则较高。从以上研究结果来看,只有较少的有机质参与形成的次生植被下湿润铁铝土的团聚体稳定性,与有较多有机质参与形成的自然植被下湿润铁铝土团聚体的稳定性比较,还是存在差别的。

2.1.3 土壤孔隙性变差 土壤的孔隙性,反映在土壤的孔隙度,大小孔隙分配及其在各层中分布情况等方面,从农学意义上来说,直接影响根系生长和水分、养分运输的则是土壤中大小孔隙的分配及其连续性稳定性<sup>[11]</sup>。研究结果表明,丘陵湿润铁铝土在人类活动影响下,土壤结构性退化还表现在土壤孔隙变差。

丘陵湿润铁铝土孔隙性变差的特征之一是总孔隙减少、容重增加,这一特征在自然土中表现得尤为突出,由表 4 可知,次生植被下湿润铁铝土表土的总孔隙度为  $46.9 \pm 5.7\%$ ,显著地低于原生植被下湿润铁铝土(鼎阔 1、鼎阔 2 等)表土的  $64.6 \pm 0.6\%$  ( $t=4.062 > t_{0.01}$ )

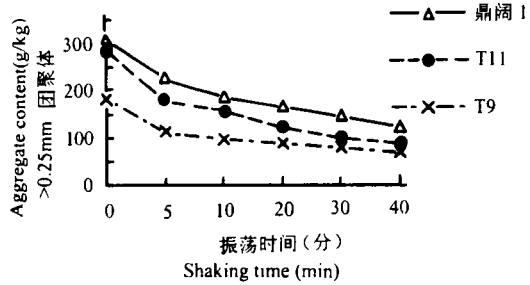


图1 丘陵湿润铁铝土团聚体含量随振荡时间延长而变化

Fig.1 Changes of the aggregate content with the increase in shaking time

=3.055)；容重为  $1.38 \pm 0.14 \text{g/cm}^3$ ，显著地高于后者的  $0.79 \pm 0.06 \text{g/cm}^3$  ( $t=5.564 > t_{0.01}=3.055$ )。显然这种差异不可能是仅仅由土壤之间粘粒含量存在差异引起(由后面的讨论可知土壤总孔隙度与土壤粘粒含量呈正相关关系)，因为即使是土壤粘粒与自然植被下湿润铁铝土(鼎阔 1、2 等)相近或更高的次生植被下湿润铁铝土(光 08、五出 3)，也存在比后者土壤总孔隙度较低，容重较高的情形。这就说明丘陵湿润铁铝土在植被演退过程中，确实

表4 丘陵湿润铁铝土孔隙状况

Table 4 Status of the porosity of hilly Udic ferralsols

田间号 Sample No.	采样深度 Depth (cm)	当量孔隙组成(%) (粒径:mm)			总孔隙度 Total porosity (%)	容重 Bulk density ( $\text{g/cm}^3$ )
		Equivalent porosity				
		>0.05	0.05~0.005	<0.005		
鼎阔1	0~10	24.5	10.5	30.1	65.1	0.84
	10~20	9.2	5.8	35.8	50.8	1.19
鼎阔2	0~10	26.0	8.5	29.5	64.0	0.73
	10~20	8.4	6.6	37.5	50.7	1.14
鼎针	0~10	9.7	6.2	24.7	40.6	1.23
	10~20	9.9	4.7	30.0	47.6	1.38
光08	0~14	6.0	5.5	37.9	49.4	1.35
光10	0~30	7.3	7.3	31.1	45.7	1.34
光11	0~12	10.6	4.5	21.0	36.1	1.64
T <sup>1)</sup>	表土	11.6	8.6	29.9	50.1	1.32
	亚表土	10.3	6.8	30.2	47.3	1.41
T16	0~16	10.1	7.7	21.0	38.8	1.55
T1	0~20	12.8	4.4	21.5	38.7	1.57
	20以下	5.1	5.1	32.9	43.1	1.55
T5	0~16	14.7	8.7	24.1	47.5	1.24
五山3	0~10	4.1	6.2	40.3	50.6	1.54
	10~20	6.5	5.1	41.4	53.0	1.45
五山1	0~10	19.2	6.8	30.0	56.0	1.29
五山2	0~10	20.4	6.7	32.7	59.8	1.30

1) 此为T4, T6, T7, T8, T9, T11各点的平均值

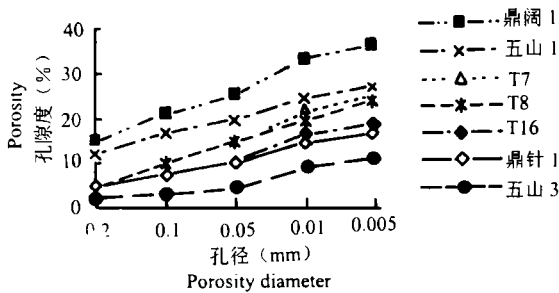


图2 丘陵湿润铁铝土表土大于某孔径当量孔隙的累积曲线图

Fig. 2 Accumulation curve of the equivalent porosity larger than a certain diameter of pore in hilly Udic ferralsols

存在土壤总孔隙度减少，容重增加的现象。

丘陵湿润铁铝土孔隙性变差，还表现在孔隙大小分布趋于不合理：较大孔径的孔隙减少，较小孔径的孔隙增加。Greenland(1977)提出，对于热带亚热带地区而言，一般需要10%直径大于0.05mm孔径的孔隙作为通气透水孔隙<sup>[5]</sup>。研究结构表明，次生植被丘陵湿

润铁铝土(自然土)的 >0.05mm 孔径的孔隙度只有 (9.8 ± 2.9)%，显著地低于自然林下湿润铁铝土(鼎阔 1、2)的 (25.3 ± 0.8)% ( $t=7.012 > t_{0.01}=3.055$ )。由图 2 不难看出，即使是总孔隙度较高的次生植被下湿润铁铝土(T7、T8、T16)和耕型湿润铁铝土(五山 1)，其孔隙大小分布也与自然林下湿润铁铝土(鼎阔 1)的有明显差异：前者较大孔径的孔隙度要比后者的明显少。

此外，丘陵湿润铁铝土孔隙性变差还表现在团聚体内部孔隙减少。我们用煤油饱和法<sup>[14]</sup>测定了若干个代表土壤表土 5~10mm 的团聚体内部孔隙度，发现次生植被下湿润铁铝土团聚体内部孔隙度一般在 25%~45%，而自然植被下湿润铁铝土(鼎阔 1、2 等)，其团聚体内部孔隙度多在 48%~52%。显然，从土壤团聚体的质量和多孔性来看，次生植被下湿润铁铝土团聚体的质量要较之自然植被下湿润铁铝土的差。

由表 4 可知，丘陵湿润铁铝土在开垦利用后，其总孔隙和较大孔隙状况较之自然土(次生植被条件下)的有一定改善。这可能是耕作疏松了土壤所致。然而，需要指出的是耕型湿润铁铝土的这种改善对土壤通气、透水的促进作用会因其结构的稳定性降低而受到制约，因为土壤团聚体稳定性低，在降雨时就易遭破坏，因而往往在雨时粘闭土壤，在雨后形成结皮(结壳)，从而降低土壤通气性。由此可见，土壤的改良，光有孔隙的增加还不成，还必须提高其稳定性。

## 2.2 土壤固相组分变化对丘陵湿润铁铝土结构退化的影响

丘陵湿润铁铝土物理退化过程是复杂的，是由土壤内部之间，以及内部与外部环境之间作用的结果。对这些作用及其机理，许多仍不十分清楚。在此，仅就土壤固相组分的变化对丘陵湿润铁铝土结构退化的影响作初步探讨。

### 2.2.1 土壤有机质和 N 含量变化的影响

有机质对土壤结构形成和土壤水分性能都有很大影响<sup>[15]</sup>。我们进行的相关统计分析结果也证明了这一点。

有机质含量与丘陵湿润铁铝土 10~

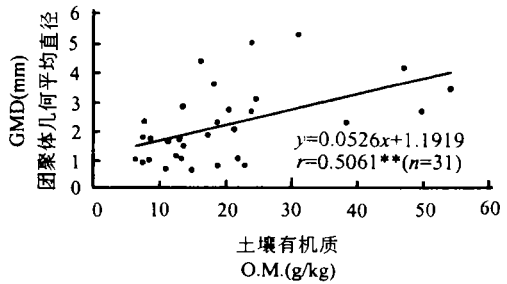


图 3 >0.25mm 水稳性团聚体几何平均直径与土壤有机质关系

Fig.3 Relationship between geometric mean diameter of water stable aggregates >0.25mm and the content of soil OM

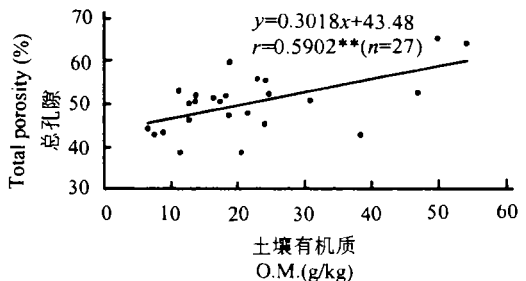
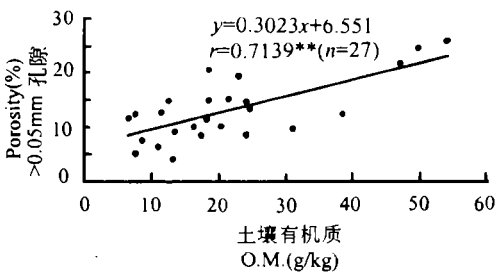


图 4 土壤孔隙性与土壤有机质的关系

Fig.4 Relationship between soil porosity and soil OM content

0.25mm 水稳性团聚体几何直径(GMD)之间有极显著的正相关(图 3),表明其对丘陵湿润铁铝土较大粒径的水稳性团聚体形成有重要促进作用。

有机质含量与丘陵湿润铁铝土总孔隙度呈正相关,与 >0.05mm 孔径孔隙呈显著正相关(图 4),表明有机质有促进丘陵湿润铁铝土总孔隙和较大孔径孔隙形成的作用。

土壤有机质促进较大粒径的稳定性团聚体和较大孔径孔隙形成的作用在粘粒含量较低的土壤中尤为显著<sup>[12]</sup>。如由表 5 可知,尽管土壤 T4、T7 表层 <0.001mm 粘粒含量仅分别为 34.6g/kg 和 39.6g/kg,但因其有机质含量较高些,因而其较大粒径的水稳性团聚体发育,>0.05mm 孔径孔隙也较多,而土壤 T13、五山 3,尽管表土的粘粒含量高得多,但由于有机质含量较低(仅为 13.5g/kg 和 13.1g/kg),因而其较大粒径的水稳性团聚体较少,反映其团

表5 不同有机质含量的丘陵湿润铁铝土团聚体孔隙状况比较

Table 5 Comparison of porosity of aggregates with different soil OM content

田间号 Sample No.	有机质 OM (g/kg)	<0.001mm粘粒 Clay(g/kg)	10~0.25mm团聚体 GMD <sup>1)</sup>	>0.05mm孔隙 Porosity (V.%)
T4	24.0	34.6	5.05	8.5
T7	24.6	39.6	3.17	13.3
T13	13.5	145.7	1.08	—
五山3	13.1	279.0	1.75	4.1

1) Geometric mean diameter of water stable aggregates.

聚体组成的几何平均直径(GMD)值就小得多,>0.05mm 的孔隙也较少。

土壤有机质对土壤团聚体稳定性的有利影响,还可由下面的研究结果所证实。如在 C-D 试剂浸提土壤样品 30 分钟,还原络合土壤中的游离氧化铁铝后,有机质含量较高的湿润铁铝土(鼎阔 1、2)其 10~0.25mm 团聚体的含量,要比有机质含量较低的湿润铁铝土(如 T9、T11 等)的高,与未用 C-D 试剂处理的土壤样品比较,前者的减幅较小,而后者减幅较大(表 6)。有机质含量(x)与用 C-D 试剂处理后的土壤样品的 10~0.25mm 团聚体含量(y)的正相关性达显著水平: $y=167.32+4.83x$  ( $n=9$   $r=0.789^*$ )。

表6 用C-D试剂处理后丘陵湿润铁铝土团聚体变化

Table 6 Changes of aggregates after treated with c-d reagent

田间号 Sample No.	采样深度 Depth (cm)	团聚体组成 (g/kg) (粒径: mm)						>0.25mm团聚体 Aggregate (g/kg)	比未处理下降 Decrement (%)	有机质 O.M. (g/kg)
		10~5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	<0.25			
鼎阔1	0~10	107.5	58.2	29.6	40.0	45.8	718.9	281.1	63.1	49.8
鼎阔2	0~10	246.0	75.4	41.8	32.4	31.6	572.8	427.2	41.5	54.1
鼎针	0~10	262.3	42.6	36.9	32.0	21.7	604.5	395.5	45.7	30.3
T9	18~15	37.2	33.2	34.7	55.3	61.3	778.3	221.7	68.5	7.6
T11	0~16	73.0	61.2	45.1	55.9	45.6	719.2	280.8	68.1	18.2
T16	0~12	182.4	64.4	34.9	26.7	24.2	667.4	332.6	56.8	20.5
五山3	0~10	56.8	14.7	17.3	20.9	48.3	842.0	158.0	75.5	13.1

综上所述可知,有机质的减少,可能是丘陵湿润铁铝土物理退化的主要原因。



沈善敏等在研究黑土团聚体稳定性与土壤养分的关系时发现,黑土的团聚体稳定性下降与土壤 N 素含量降低密切相关<sup>[16]</sup>。我们的研究表明,与有机质一样,土壤 N 素的减少与丘陵湿润铁铝土团微体稳定性下降有较密切的关系: 如对博罗下村丘陵湿润铁铝土的分析表明,其全 N 含量与其 10~0.25mm 水稳性团聚体及其 GMD 之间均呈显著的正相关关系(图 5),与其总孔隙度也呈显著正相关关系。

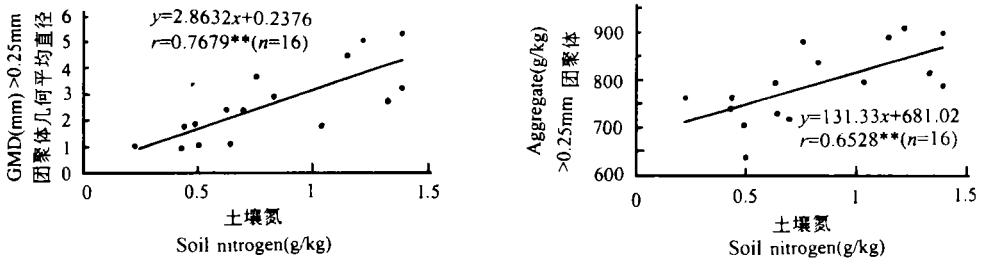


图5 土壤团聚性与土壤氮的关系

Fig. 5 Relationship between soil aggregation and Soil nitrogen content

土壤 N 素和有机质是土壤微生物活动所需的 N 源和能源,而土壤微生物在土壤结构形成中有重要作用: 微生物细胞和菌丝的机械连结作用,微生物合成产物的胶结作用,微生物的分解产物的稳定作用,可促使产生稳定的土壤团聚体<sup>[12]</sup>。土壤 N 素减少,微生物就只好分解利用原来胶结团聚体的有机质,从而使团聚体受到破坏。这可能是土壤 N 素和有机质一样与土壤团聚体稳定性密切相关的原因。

在我国亚热带地区,由于降雨丰富且强度大,随着植被破坏,丘陵坡面水土流失就加速进行,大量的有机质、N 素等养分将随着粘粒的流失而流失,这已为许多研究结果所证实<sup>[17~20]</sup>,显而易见,水土流失对丘陵湿润铁铝土的结构退化的影响很大,是防治丘陵湿润铁铝土的结构退化不可忽视的因素。

2.2.2 土壤粘粒含量变化的影响 土壤粘粒含量减少除引起有机质、N 素等养分减少,因而对丘陵湿润铁铝土的结构退化产生间接影响外,对丘陵湿润铁铝土结构性、水分性能的退化还有一定的直接影响。

相关统计分析表明,粘粒含量与丘陵湿润铁铝土的微团聚体形成有一定影响。丘陵湿润铁铝土的结构系数(y)与粘粒含量(x)呈显著的正相关关系:

$$y = 0.22517x + 24.484$$

$$(r = 0.6142^{**} \quad n = 16)$$

而土壤微团聚体是形成土壤大团聚体的基础,因此,土壤粘粒的减少显然会破坏丘陵湿润铁铝土大团聚体形成的基础。

粘粒含量的减少对土壤孔隙性也有一定的影响。相关统计分析结果表

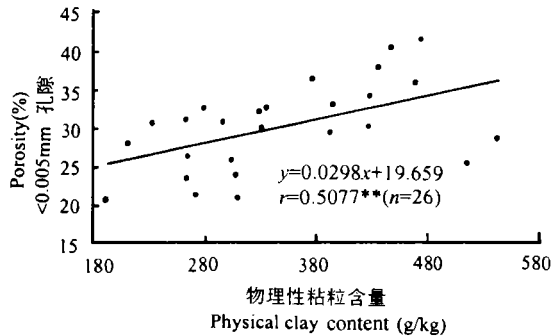


图6 土壤<0.005mm孔径孔隙与土壤物理性粘粒的关系

Fig. 6 Relationship between <0.005mm porosity and physical clay content

明,物理性粘粒含量与丘陵湿润铁铝土总孔隙度呈一定的正相关( $r=0.3898$ ),与 $<0.005\text{mm}$ 孔隙度则呈显著正相关关系(图6)。显然,丘陵湿润铁铝土结构性退化的表现之一,即较大孔径孔隙减少,并不是粘粒含量减少的结果,而可能主要与有机质减少有关。

### 3 结语

综上所述,与地带性自然植被下丘陵湿润铁铝土比较,次生植被或人工植被下丘陵湿润铁铝土结构退化现象明显。表现在表土砂化,即砂粒含量相对增加,粘粒含量相对减少;土壤结构稳定性下降,主要体现在较大粒径水稳性团聚体减少;土壤孔隙性变差,主要体现在容重增加和较大孔径孔隙减少。对自然湿润铁铝土而言,容重增加、较大孔隙减少更为明显;对耕型湿润铁铝土而言,土壤结构稳定性下降,表土砂化更为突出。相关数理分析结果表明,养分贫瘠化,特别是有机质减少,是丘陵湿润铁铝土结构退化的主要内在因素,而水土流失(粘粒流失)将导致土壤有机质和N素等养分的减少,是对丘陵湿润铁铝土结构退化影响最大的间接因素。因此,提高土壤有机质含量,防止土壤养分贫瘠化,是防治丘陵湿润铁铝土结构退化的主要途径,而防治水土流失是防治丘陵湿润铁铝土结构退化的关键措施。

### 参 考 文 献

1. 广东省土壤普查办公室编著. 广东土壤. 北京:科学出版社,1993
2. 姚贤良,于德芬.红壤的物理性质及其意义.土壤学报,1982,19(3):224~236
3. 赵其国.我国红壤的退化问题.土壤,1995,27(6):281~285
4. 何毓蓉.我国南方山区土壤退化及其防治.山地研究,1996,14(2):110~116
5. 姚贤良.热带亚热带土壤的物理问题及其管理.土壤,1986,1~9
6. 洪庆文,黄不凡主编.农业生产中的若干土壤学与植物营养学问题.北京:科学出版社,1994,69~82
7. 唐淑英,钟继洪,杨光邦,谭军.新垦湿润铁铝土结构特性的演化.土壤学报,1995,32(3):253~265
8. 钟继洪,张秉刚,谭军,骆伯胜,卓慕宁.博罗县下村农场丘陵湿润铁铝土的结构特征及其意义.热带亚热带土壤科学,1993,2(4):203~210
9. 中国科学院南京土壤研究所编.土壤理化分析.上海:上海科学技术出版社,1978
10. 中国科学院南京土壤研究所物理室编.土壤物理性质测定法.北京:科学出版社,1978,26~95
11. 姚贤良.土壤结构.见:熊毅,李庆逵主编.中国土壤.北京:科学出版社,1987,339~349
12. L.D.贝弗尔,W.H.加德纳著.土壤物理学(周传槐译)北京:农业出版社,1983
13. Russell M B, Feng C L. Characterization of the stability of soil aggregates. Soil Sci., 1947, 63: 299~304
14. [日本]土壤物理测定委员会编(翁德衡译).土壤物理性测定法.重庆:中国科学技术文献出版社重庆分社出版,1979
15. 张秉刚,卓慕宁,骆伯胜等著.广东丘陵土壤水热资源及其开发利用.广州:广东科技出版社,1994
16. 沈善敏.黑土开垦后土壤团聚体稳定性与土壤养分状况的关系.土壤,1981,32~34
17. 史德明,韦启璠,梁音.关于侵蚀土壤退化及其机理.土壤,1996,28(3):140~144
18. 史学正,史德明.综合利用我国红壤资源防治沙水土流失.水土保持学报,1992,6(1):33~39
19. Zhang Bin, Zhang Taolin, Zhao Qiguo. Soil erosion of various farming systems in subtropical China. Pedosphere, 1996, 6(3): 225~233
20. 杨艳生.第四纪红粘土区侵蚀土壤退化机理研究.水土保持研究,1997,4(1):100~108

## STUDIES ON STRUCTURE DEGRADATION AND ITS POSSIBLE MECHANISM OF UDIC FERRALISOLS IN SOUTHERN SUBTROPICAL HILLS

Zhong Ji-hong Tan Jun Guo Qing-rong,

Luo Bo-sheng Zhou Mu-ning Huang Xiang-lan

(*Guangdong Institute of Eco-Environmental and Soil Sciences, Guangzhou 510650*)

### Summary

This paper deals with the soil structure degradation characteristics and its possible mechanism in Udic ferralisols. Results showed that compared with the soil under zonal natural vegetation it suffered more structure degradation under secondary or man-made vegetation. It was found that the structure degradation in Udic ferralisols was characterized by sandification of surface soil, lowering of aggregates stability, decrease in bigger aggregates, deterioration of soil porosity, increase of bulk density and lowering of bigger pore content. For natural Udic ferralisols, the increase of bulk density and decrease in bigger pore aggregate content were more obvious, however, for cultivated lands, the lowering of aggregates stability and sandification of surface soil were more serious. Mathematical analytic results indicated that the nutrients improvement, especially the organic matter deficient, might be the main interior factor causing structure degradation of Udic ferralisols.

**Key words** Hilly Udic ferralisols, Structure degradation, Possible mechanism