

红壤结构的稳定性及其在土壤 分类上的意义

陆景冈 娄国强 何振立 吴志红

(浙江农业大学)

摘 要

良好发育的红壤,常有一种特殊的稳固结构,它与氧化铁、铝的胶结有关。这种结构经泡水后基本稳定;还原处理或络合处理能致使较多的破坏;还原与络合联合处理能达到最大程度的破坏。从试验中还说明红壤结构的破坏率都与铁、铝溶出量成正相关。

铁、铝积聚是红壤化作用的基本特征,与铁、铝直接有关的结构状况,从理论上说,应可作为分类上的参考指标。又因结构状况还受到矿物类型、粘粒含量、酸度等因素的影响,所以还具有综合性的意义。同时按田间观察,它在生产上的意义也较大。

工作中看到红壤的结构状况,至少可对红壤的发育度、熟化度以及母质因素的影响等做出有规律的反映,这也表明了它在分类上的现实意义。

一、引

一般低丘红壤(即发育度较好的红壤),在未经开垦前表土0—5厘米以内,有机质多,略有团粒结构,向下渐变核块状结构,越向下块体越大,约50—60厘米以下渐变为核状结构,结构体表面的边面逐渐明显。经耕作后,地表常出现10—20厘米厚的疏松层,容重约为1克/厘米³,孔隙度可高达60%。这一层内的水稳性团聚体(>0.25毫米)含量,也常高达60%以上,所以疏松层不易为雨水破坏,但其有机质含量却不高,不同于熟化后的耕作层^[1]。

以上说明低丘红壤在A[B]层或[B]层内有大量特殊的水稳性结构,因其被冲刷后的状况与砂粒非常相似,有人称之为“假砂”。而这种结构的胶结物质以氧化铁和氧化铝为主,是红壤土类特有性状之一。

这种红壤结构的稳定性,国内外有过不少报道,认为它与游离氧化铁的含量呈正相关^[2,11-13,16]。然而也有人认为氧化铝有相似的作用^[12,14,15]。这些很可能与试验所处的条件或土样不同有关,至今问题未获得最后解决。

本文模拟田间泡水与施用有机肥的作用,给予还原、络合、还原-络合等几个处理。拟借不同处理条件所得不同的结构破坏程度来反映红壤的特性及发育状况,从而提供分类学上的参考。同时也为阐述红壤结构形成本质问题积累资料。

二、红壤结构的稳定性

(一) 供试土样。

试验中选用的全部为结构比较明显的低丘红壤，一般熟化度不高，其共同特点为：酸性强、质地粘、有机质含量低。样品中考虑到不同母质和同一母质上土壤不同层次之间的比较。主要性状见表 1。

(二) 还原处理(土样：II₁、II₂、II₃)

取三种原状风干土样各 600 克，分别置于烧杯中，各加 600 毫升 1% 葡萄糖溶液，为保持其还原性，于 11 日后每杯又加葡萄糖 6 克，至第 18 日测定(气温在 16—20°C 之间)。以相同体积的蒸馏水浸泡同样天数为对照，并分析未做浸泡处理的原状风干土样以为比较。各浸泡处理均倾出浸提液，分析铁、铝含量(为观察一定时间后，液体中铁、铝含量与结构状况间的关系，所以只做一次提取)，并小心从烧杯中取出湿土一部分，放滤纸上稍稍沥干后，分别称样，与原状土一起分别分析团聚体(湿筛筛分法)、微团聚体(吸管法)及水分含量等项(图 1)。此外将烧杯中取出的湿土，留一部分风干过筛，与原状土一起分析其中不同形态的铁(表 2)，结果如下：

表 1 供试土样的基本性质

Table 1 Major properties of soil samples

| 土样编号 Sample no. | 母质 Parent material | 采样地点 Location | 发育层 Horizon | 取样深度 (cm) Depth | pH | | 有机质 (%) O. M. | <0.001mm | | 机械组成(%) (粒径: mm) Mechanical composition | | | |
|--------------------|-----------------------|------------------|----------------|-----------------------|------------------|------|---------------------|--|--|--|----------------|-----------------|--------|
| | | | | | H ₂ O | KCl | | SiO ₂ / Al ₂ O ₃ | SiO ₂ / Fe ₂ O ₃ | >0.01 | 0.01— 0.005 | 0.005— 0.001 | <0.001 |
| I | 玄武岩 | 浙江缙县 | A[B] | 20—40 | 4.71 | 3.82 | 1.6 | 2.1 | 1.4 | 20 | 8 | 15 | 57 |
| II ₁ | 第四纪红土 | 杭州九溪 | A | 0—18 | 5.50 | — | 1.2 | — | — | 37 | 13 | 18 | 32 |
| II ₂ | | | A[B] | 40—70 | 5.41 | 4.01 | 0.8 | 2.5 | 2.0 | 35 | 14 | 20 | 31 |
| II ₃ | | | [B] | 120—180 | 5.00 | — | 0.5 | — | — | 34 | 12 | 18 | 36 |
| III | 页岩 | 杭州中村 | [B] | 47—129 | 5.13 | 4.12 | 0.8 | 2.4 | 1.9 | 14 | 12 | 27 | 47 |

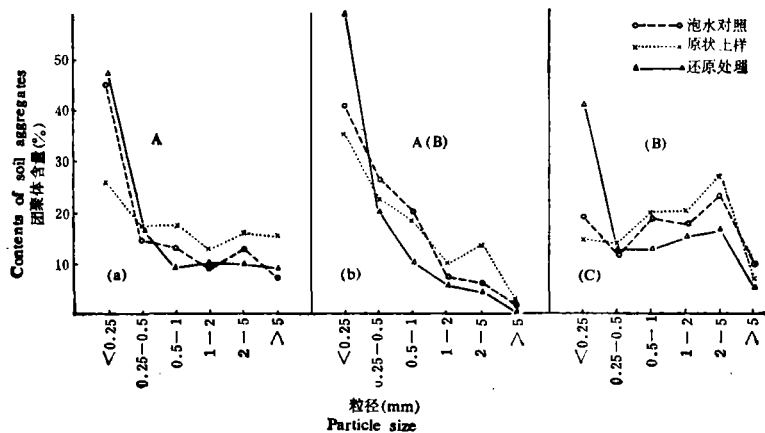


图 1 还原处理对红壤团聚体破坏的影响

Fig. 1 Effects of reduction treatment on the destruction of soil aggregate

表 2 还原处理与土壤氧化铁的转化及结构破坏率的关系

Table 2 Effects of reduction treatment on the transformation of different type of iron in soils and the destruction ratio of soil aggregates

| 土样编号 Sample no. | 发生层 Horizon | 处理前或后 Before or after the treatment | Fe _o (%) | Fe _d (%) | Fe _{d-o} (%) | Fe _o /Fe _d | 结构破坏率(%) Destruction ratio of soil aggregate |
|--------------------|----------------|--|------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|---|
| II ₁ | A | 前 | 0.293 | 4.26 | 3.97 | 0.0688 | 2.96 |
| | | 后 | 0.710 | 4.35 | 3.64 | 0.163 | |
| II ₂ | A[B] | 前 | 0.275 | 4.11 | 3.84 | 0.0669 | 33.60 |
| | | 后 | 2.05 | 3.91 | 1.86 | 0.524 | |
| II ₃ | [B] | 前 | 0.267 | 4.79 | 4.52 | 0.0557 | 25.87 |
| | | 后 | 2.37 | 4.57 | 2.20 | 0.519 | |

注: Fe_o 是非晶质氧化铁,以 pH3.2 的草酸-草酸铵溶液提取。Fe_d 是游离氧化铁,用 Coffin 法^[17],以连二亚硫酸钠-柠檬酸-柠檬酸三钠溶液提取。以上均用邻啡罗啉比色法测定,数据以含 Fe₂CO₃ 的%表示。Fe_{d-o} = Fe_d - Fe_o, 为晶质氧化铁, Fe_o/Fe_d 为氧化铁活化度。结构破坏率 = $\frac{\text{干筛百分数} - \text{湿筛百分数}}{\text{干筛百分数}} \times 100$, 各项均指 >0.25mm 粒级的团聚体,已扣除泡水处理的破坏效果。

1. [B] 层中 >0.5mm 的各级团聚体均有不同程度的减少。A[B] 层中的变化趋势也

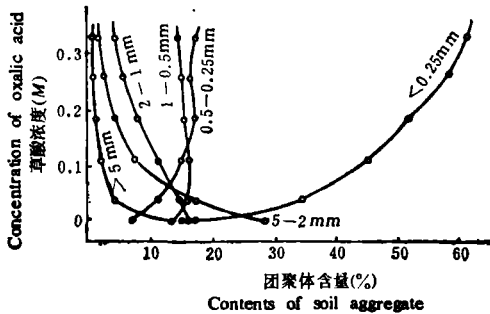


图 2 络合处理的草酸浓度与各级团聚体含量的变化

Fig. 2 Relations between the concentration of oxalic acid in the chelating treatment and the contents of soil aggregates

相似。而以 0.25—5mm 团聚体的减少更为明显。这些团聚体的解体,使 <0.25mm 的团聚体大为增加(图 1-b, c)。

2. A 层中团聚体的破坏相对地较不明显,可能与其中有机质的胶结作用有关(图 1-a)。

3. 团聚体的破坏基本上与该层晶质氧化铁的活化度相对应。即随着葡萄糖的分解,土壤的还原程度提高(自处理初的 +600 mV 左右渐降至 -200mV 左右),氧化铁的活化度提高,团聚体的破坏率也较大。不同土样之间,结构破坏率也与氧化铁的活化度成正相关(表 2)。

(三) 络合处理(土样: II₁)

6 只烧杯中各放置 500 克土样,分别加不同浓度的草酸溶液 500 毫升(以 0.035M 为起点,按每隔 0.075M 递增,经试验,这一范围内的变化较明显),放置 5 天,分析其团聚体的变化及其中氧化铁的转化(方法同上节),结果如下:

1. 在草酸浓度增加的过程中, >2mm 粒径的各级团聚体大量破坏, <0.25mm 粒径的团聚体大量增加,而 0.25—0.5mm 和 0.5—1mm 粒径的中等大小颗粒因有增有减,数量变化不大(图 2)。

2. 随着草酸浓度增加,红壤的结构破坏率急剧上升(图 3-c)。

3. 随着草酸浓度增加,土壤中的晶质铁明显减少,氧化铁的活化度明显增加(图 3-a,

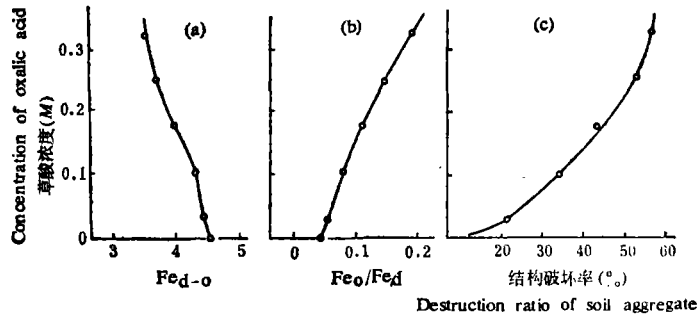


图 3 络合处理的草酸浓度与红壤中晶质氧化铁、铁的活化度及结构破坏率的关系

Fig. 3 Relations between the concentration of oxalic acid in the chelating treatment and Fe_{d-o} , Fe_o/Fe_d and the destruction ratio of soil aggregate

b)。说明红壤结构的破坏和草酸对氧化铁的络合作用成正相关。

4. 在草酸处理过程中, 被提出的氧化铁数量与团聚体破坏程度, 二者虽总变化趋势一致, 但变化程度并不完全相符, 说明除氧化铁外, 还有其他的结构胶结物, 最主要的可能就是后述的氧化铝。

(四) 还原-络合处理(土样: I, II₂, III)

原状风干土土样三种, 以 C-D 试剂(0.1M 柠檬酸加 0.1M 连二亚硫酸钠)处理, 并以 0.1M 草酸与蒸馏水为对照。每一处理用土样 500 克加 500 毫升处理液, 浸泡一周, 分析其团聚体(方法同上)。并用比色法^[3]测定浸提液中的活性铁和活性铝, 结果如表 3 所示。

表 3 还原-络合处理的红壤结构破坏率及铁、铝的溶出量

Table 3 Destruction ratio of soil aggregates and the extracted amount of Fe, Al under the influence of reduction-chelation treatment

| 土样编号 Sample no. | 土壤母质与发生层 Parent material and horizon | 处理试剂* Reagent | Fe (ppm) | Al (ppm) | 结构破坏率(%) Destruction ratio of soil aggregate |
|--------------------|---|------------------|----------|----------|---|
| I | 玄武岩 Basalt A[B] | (1) | 痕迹 | 痕迹 | -7.0 |
| | | (2) | 290.0 | 262.5 | 14.6 |
| | | (3) | — | — | - |
| II ₂ | 第四纪红土 Quaternary red clay A[B] | (1) | 0.12 | 0.70 | -2.9 |
| | | (2) | 440.0 | 216.5 | 31.6 |
| | | (3) | 547.0 | — | 72.1 |
| III | 页岩 Shale [B] | (1) | 痕迹 | 0.68 | 8.3 |
| | | (2) | 476.0 | 105.0 | 37.9 |
| | | (3) | 536.0 | — | 80.6 |

* (1) 蒸馏水; (2) 0.1M 草酸; (3) C-D 试剂。

1. 从表 3 中可见到红壤结构的破坏率随浸提液中的铁与铝浓度的增加而提高, 说明在红壤的胶结物中, 铝与铁同样有重要作用。

2. C-D 试剂因兼有还原和络合的双重作用, 所以对铁、铝的提出量与结构的破坏都可以达到较高的程度。在不同土壤的分别处理中, 其作用都超过草酸。

3. 无论氧化铁或氧化铝的提出量虽与红壤结构的破坏率成正相关, 但都没有明显的比例关系。说明还有其他因素影响红壤结构的稳定性。

三、红壤结构性在分类上的意义

根据以上试验, 说明红壤结构与铁、铝的关系密切, 归纳其特点如下:

1. **单纯的泡水不能破坏红壤结构** 从几项实验对照处理(蒸馏水浸泡)的结果可以看出, 不仅结构破坏很少, 甚至可能因水膜促使土粒结合, 致使结构破坏率成为负数(表3)。

2. 还原处理以活化土壤中的晶质氧化铁为主, 对结构有一定程度的破坏。

3. 络合处理能去除结构里的氧化铁与氧化铝, 使结构有明显的破坏。

4. 还原-络合处理能去除红壤结构中更多的氧化铁与氧化铝, 使结构破坏率达到很大的程度。

这几项处理对红壤结构破坏程度的差异, 主要来源于红壤中氧化铁与氧化铝存在的数量与形态。因为不同类型的红壤中铁、铝的质与量不同, 在结构的稳定性方面, 就有不同的表现。此中应有下列几个方面。

(1) 过去我们多次论述过低丘红壤是红壤中发育条件较好、发育程度较深的类型^[4,5], [B]层内的结构特征最为明显, 显然不是偶然的。本次在红壤结构稳定性研究中选用的几个土样(表1), 都是在低丘上发育。它们心土的结构都比附近非低丘位置上的明显。我们认为发育程度较深的红壤, 不仅铁、铝的含量高, 而且铁铝的结晶度也愈高。它们在结构上将有明显的反应。所反应的结构状况应能做为红壤发育度的重要标志之一。近期有文献^[7]发现砖红壤、赤红壤与红壤的结构稳定性显著不同, 也说明了这一问题。

(2) 目前我国大部分红壤地区, 由于侵蚀严重, 母质因素对成土过程的影响常相当突出^[4]。在上述对红壤结构还原-络合处理的试验中(表2), 也说明虽然三种红壤分布的地形等发育条件相似, 土样在处理前, 团聚体都十分发育, 处理后的结构破坏率总趋势也一致, 但破坏程度却显然不同。玄武岩母质的红壤破坏率较低, 页岩母质的较高, 第四纪红土母质的居中。这可能与几种母岩上土壤的铁、铝含量及其易于转化的程度有关。也表明了红壤结构性对其母质的差异能有明显的反映。从表1可见, 页岩母质土壤的硅铝率与粘粒含量同第四纪红土相差不大, 但结构破坏率却较高, 很可能是胶体品质(尤其是氧化铁、铝的结晶度)的影响。

(3) 姚贤良等的系统研究指出^[8]: 未经熟化但红化度深的红壤下层或荒地红壤, 粘粒含量高达30—50%, 其结构胶结物以氧化铁铝为主, 特点是结构内的孔隙少。正是这种胶结物以氧化铁、铝为主的红壤, 经处理后, 在结构稳定性上的反映最为明显, 也最宜用为分类参考的测定对象。这些土壤多属[B]或C层(目前划分标准尚不统一), 它受表层有机质的影响以及后期环境因素的干扰也少。

(4) 红壤在熟化过程中, 无论旱耕或水耕, 其结构都有明显的变化, 这方面我们有过详细论述^[4]。一般除了有机质含量很高的情况以外, 以氧化铁、铝胶结为主的团聚体都会随有机质含量的提高而逐渐破坏(图4)。这一规律也反映在其他文献^[9]的数据里, 说明

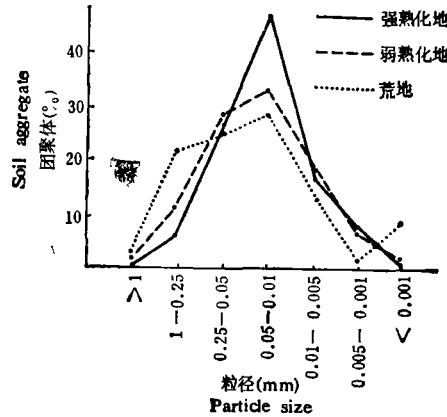


图 4 不同熟化度的低丘红壤所含各级团聚体的比较

Fig. 4 Comparison for the aggregate amounts in the red earths with different extent of mellowness

了它的普遍性。

以上资料说明,虽然可能还有其他因素影响红壤结构的形成与变化,但红壤的结构性可以对红壤的发育度、熟化度以及影响红壤形状的母亲因素做出有规律的反映,所以我们认为研究红壤的结构性可作为红壤基层分类的重要参考。

历来在土壤分类工作中,用以体现红壤发育状况的指标有:酸度、颜色、粘土矿物类型或粉砂/粘粒的比值等。参考价值更大的有粘粒部分的硅铝率(K_i 值)或硅铁铝率(分子比)。 K_i 值或分子比之所以更能说明红壤的发育度,因其直接与红壤化作用的产物——氧化铁、铝相联系。现在我们提出以红壤中的特殊结构状况为分类参考指标,其最重要的理论根据也因其直接与氧化铁、铝的胶结有关。而且红壤的结构状况与土壤的粘土矿物类型、粉砂/粘粒的比值及酸度等项都有关系,它能体现更大的综合性。对于复杂的成土过程,综合性的指标可能效果更好。

因特殊团聚体造成的红壤结构状况,一般在旱地耕作表土,可表现为疏松层,它能使土壤含水多而稳定、促进隔夜返潮、利于作物发根与地下根、茎作物的结实,冬季还可减少

表 4 还原及络合处理对红壤微团聚体含量(%)变化的影响(粒径: mm)

Table 4 Effects of reduction-chelation treatment on the amount of microaggregates of red soil

| 土样编号 Sample no. | 土壤母质及发育层 Parent material and horizon | 处理试剂* Reagent | 1—0.25 | 0.25—0.05 | 0.05—0.01 | 0.01—0.005 | 0.005—0.001 | <0.001 |
|--------------------|---|------------------|--------|-----------|-----------|------------|-------------|--------|
| | | | | | | | | |
| II ₂ | 第四纪红土 A[B] | (1) | 3.0 | 7.6 | 87.2 | 0.4 | 1.3 | 0.5 |
| | | (2) | 2.6 | 5.8 | 40.0 | 17.5 | 24.7 | 9.4 |
| | | (3) | 1.8 | 5.8 | 35.1 | 16.4 | 21.2 | 19.5 |
| III | 页岩 [B] | (1) | 4.3 | 9.8 | 84.8 | 0.4 | 0.7 | 微 |
| | | (2) | 1.9 | 5.6 | 84.5 | 5.0 | 2.4 | 0.6 |
| | | (3) | 1.0 | 2.9 | 18.4 | 30.2 | 40.0 | 6.6 |

* (1) 蒸馏水; (2) 0.1M 草酸; (3) C-D 试剂。

冻害^[6]。但这种结构在改为水田时由于还原与络合的双重作用会造成耕性糊烂。它直接与农业生产有密切关系^[10]。所以按结构性对红壤进行分类,也有较大的生产实践意义。

在红壤的微团聚体研究方面,过去我们提出过: 粒径 0.05—0.01 毫米的微团聚体,其数量在红壤熟化过程中有明显变化^[11]。这次我们在红壤结构稳定性的研究中,又看到 0.05—0.01 毫米的微团聚体经处理后,在各粒径等级中,变化最为敏感,而其中又以还原-络合处理的尤其明显。对两种母质的红壤说都是这样(表 4)。变化的趋势则与 >0.25 毫米的团聚体相似,即铁、铝的浸出量愈大,结构的破坏率愈大。所以我们考虑这一级微团聚体的情况,也可作为分类的指标之一。

参 考 文 献

- [1] 陆景冈, 1979: 红壤结构性的田间观察与初步分析。土壤学报, 第 16 卷 1 期, 63—69 页。
- [2] 何 群、陈家坊、许祖贻, 1981: 土壤中氧化铁的转化及其对土壤结构的影响。土壤学报, 第 18 卷 4 期, 326—334 页。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 土壤理化分析。上海科技出版社。
- [4] 陆景冈, 1964: 浙江省低丘红黄壤的成土作用分析。土壤通报, 第 2 期。
- [5] 陆景冈, 1965: 浙江省新地质构造运动与低丘红壤形成及分布的关系。土壤学报, 第 13 卷 2 期, 161—169 页。
- [6] 陆景冈、屠耀玉, 1977: 新垦茶园开垦前后的土壤水分与热量状况初步研究。茶叶季刊, 第 3 期。
- [7] 姚贤良等, 1982: 红壤的物理性质及其生产意义。土壤学报, 第 19 卷 3 期, 227—228 页。
- [8] 姚贤良等, 1964: 赣中丘陵地区红壤及红壤性水稻土的胶结物质及其与土壤结构的关系。土壤学报, 第 12 卷 1 期, 43—54 页。
- [9] 姚贤良等, 1962: 赣中丘陵地区红壤性水稻土的结构状况及其肥力意义。土壤学报, 第 10 卷 3 期, 267—288 页。
- [10] 陆景冈, 1975: 新改红黄壤水田的土壤耕性和水稻黑根黄叶问题。土壤, 第 3 期。
- [11] Lutz, J. F., 1936: The Relation of free iron in the soil aggregation. Soil Sci. Amer. Proc., 1: 43—45.
- [12] Chesters, G. et al., 1957: Soil aggregation in relation to various soil constituents. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21: 272—277.
- [13] Peterson, J. B., 1946: The soil of clay minerals in the formation of soil structure. Soil Sci., 61: 247—256.
- [14] Kroth, E. M. et al., 1946: Aggregate formation in soil with special reference to cementing substance. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 11: 27—34.
- [15] Islam, M. A. et al., 1954: Aggregation of east bengal soils in relation to their chemical composition. Soil Sci., 78: 429—434.
- [16] Deshpande, T. L. et al., 1968: Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminium oxides. J. Soil Sci., 19: 108—122.
- [17] Hesse, P. R., 1971: A Textbook of Soil Chemical Analysis. pp. 355, John Murray Ltd. London.

STABILITY OF THE STRUCTURE OF RED EARTHS AND ITS SIGNIFICANCE IN SOIL CLASSIFICATION

Lu Jingang, Lou Guojiang, He Zhenli and Wu Zhihong
(Zhejiang Agricultural University)

Summary

The experiment results in this report are summarized as follows:

1. Both of the reduction treatments (with glucose) and chelation treatments (with oxalic acid) could activate and remove certain amount of Fe_2O_3 or Al_2O_3 from the soil and deteriorated the soil structure containing macro- and micro-aggregates.

2. The reduction-chelation treatments (with citrate-dithionite solution) could activate and remove a large amount of Fe_2O_3 and Al_2O_3 and strongly deteriorated the soil structure.

3. Destruction ratio of soil aggregate (Table 2) was closely related with the extracted amount of Fe_2O_3 or Al_2O_3 in the solution in all treatments mentioned above.

Theoretically, the sesqui-oxide accumulation is the most important characteristic of the development of red earths. The soil structure which is closely related with the Fe and Al should be a useful criterion in the red earth classification. Moreover, soil structure is always influenced by the composition clay minerals, clay content and acidity of the soil; it is also of great significance in farming practice. It is considered that the structure in red earths may indicate the developmental stage, mellowness of the soils and the influence of parent materials on the soils.