

# 土壤结构的性态研究

熊毅 姚賢良 樊潤威

(中国科学院土壤研究所)

提高土壤肥力的目的主要在于充分发挥土壤潜在能力,保证农作物的高额稳产。为了达到这个目的,必须定向控制土壤的变化,改善土壤状况。土壤肥力是各种土壤性质的综合表现,并随着环境和时间而不断变化。要彻底了解土壤肥力,不仅要明悉土壤供应肥、水的容量和供应的快慢及持续时间,还要考虑肥、水的协调和植物根系的生活条件,这就是我们所称的肥力基础(简称肥基)<sup>[1]</sup>。

从本质上看,土壤肥力的高低在很大程度上取决于土壤结构的性态(简称土壤结构性)。土壤结构性不仅决定土壤中水、热、空气和生物状况,而且还左右土壤中植物营养元素的有效性和供应能力。因此,土壤结构性是土壤肥力基础的重要特征,是耕种土壤最重要的肥力指标之一。

我国在土壤结构性的研究方面,过去多侧重于结构性质的研究,资料也不完整。近年来开始进行原状土壤结构的微形态观察。本文除对土壤结构性质的研究作一回顾以外,着重讨论我国主要土类的土壤结构的微形态特征,以及耕作和施肥对微形态的影响。

## 一、土壤结构的性质

土壤结构的性质主要包括两个方面,即土壤团聚体的稳定性(主要是水稳性)和多孔性。一般把土壤经过湿筛,从直径  $> 0.25$  毫米的团聚体的多寡,来评价水稳性的好坏。B. P. 威廉斯认为, $> 0.25$  毫米的水稳性团聚体含量占土重的 70% 时,为有结构的土壤<sup>[2]</sup>。夏家洪等曾分析我国北方几种主要土类的团聚体含量,结果是除黑土的水稳性团聚体含量可达 80—90% 外,其他土壤中的含量不甚高。我国的耕种土壤,由于长期经受耕作,土壤中水稳性团聚体的含量一般较低<sup>[3]</sup>,并且心土或母质中的含量往往比耕层还高<sup>[4]</sup>。有些耕种红壤、黄棕壤,虽然土壤中水稳性团聚体含量很高,但并非良好的耕种土壤<sup>[4]</sup>。从这些情况看来,不能笼统地认为,水稳性团聚体含量高就是结构性好,是好土,而必须区别土壤团聚体的水稳性是怎样产生的。形成团聚体水稳作用的原因有二:一是由于有机胶体和无机胶体不可逆的凝聚而形成的;另外一种是由于土粒紧密排列而形成的。后一种团聚体的内部孔隙太小,水分难于进入,不易破裂。由前一因素所造成的水稳性团聚体对提高土壤肥力有良好作用,而后一因素所形成的水稳性团聚体,对农业生产往往起不良作用。由此可见,要创造良好的水稳性团聚体、改善土壤物理状况和提高土壤肥力,增施有机肥料,特别是扩种绿肥,是关键性措施之一。据李继云<sup>[5]</sup>的研究,连作麦槎地的土壤, $> 0.25$  毫米的水稳性团聚体只 12—14%,而种植苜蓿三年的土壤, $> 0.25$  毫米的水稳性团聚体可增加至 32—48%。

在土壤质地大致相同的情况下,由于良好的耕作和施肥,土壤结构性也产生差异。肥

沃土壤中的水稳性团聚体含量,一般都相对较高。同属石灰性中壤质的浅色草甸土(二合土),肥力水平较高的土壤中,水稳性团聚体含量较高,平均粒径和集中粒径也较大(表1)。红壤性水稻土也有同样情况(表2)。

表1 石灰性中壤质草甸土的团聚体含量(0—10厘米)\*

肥力水平	> 0.25毫米 水稳性团聚体 (%)	团聚体平均粒径 (毫米)	集中粒径 (毫米)
较高	78.2	0.60	0.5—0.25
较低	61.1	0.55	<0.25

\* 朱理微等分析。土样采自北京中德人民公社。

表2 不同肥力水平红壤性水稻土的水稳性团聚体含量 (%)

土 壤*	土 层 (厘 米)	肥 力 水 平	水稳性团聚体含量 (> 0.25毫米)
结板水稻土(结板田)	0—10	低	22.9
红黄色水稻土(黄泥田)	0—13	中	37.1
乌色水稻土(乌泥田)	0—14	高	58.0

\* 三种土壤均属重壤土。采自江西进贤县。

但是,也有相反的情况,在红壤旱地,如施用有机肥料较少,土壤中的团聚体主要是由粘粒或其他无机化合物包结而成,水稳性团聚体含量的多寡,并不能反映出肥力水平的高低。相反,往往肥力水平较低的土壤,其水稳性团聚体的含量却很高(表3)。

表3 不同肥力水平的红壤中水稳性团聚体的含量 (%)

土 壤*	肥 力 水 平	水稳性团聚体含量(> 0.25毫米)
侵蚀红壤	低	70—80
红壤(黄土)	低	30—50
红壤(乌黄土)	较高	30—16
黄棕壤 1	低	39
黄棕壤 2	较高	32

\* 红壤采自江西进贤,黄棕壤采自南京江宁。

关于孔隙性方面,大家都承认粘质土壤中孔隙的发育,是土壤结构性改善的重要标志<sup>[6]</sup>。致密土壤中的孔隙性得到改善,可以解决土壤中水、气矛盾,有利于生物活动,促进养分活化,也可以解决土壤中供肥和保肥的矛盾。我们曾研究了儿种土壤中的孔隙性状,结果是不论那种土壤,孔隙发育得较好的,肥力水平就较高。孔隙发育得较好表现在土体内的总孔隙度,非毛管孔隙度,单独团聚体内的孔隙度以及由毛管水持占的孔隙度<sup>1)</sup>等均有不同程度的增加,由此而改善了土壤的水分物理性质,增强了透水性、通气性,而在一定程度上又能抑制水分蒸发(表4)。

土壤孔隙的改善密切受耕作和施肥的影响,在相类同的耕作条件下翻压绿肥和增施有机肥料是改善土壤孔隙性的关键性措施。据林景亮的试验结果<sup>[7]</sup>,大量翻压紫云英,可在1—2年内增加总孔隙度3—4%。又据宋炳奎等<sup>[8]</sup>的试验资料,每亩施用农家肥料4,000—20,000斤,可增加总孔隙度5—15%。

1) 不包括由束缚水所持占的孔隙度在内,因而有别于一般所称的毛管孔隙度。

表 4 不同土壤(耕层)中的孔隙性状及水物理性质

土壤名称	肥力水平	总孔隙度 (%)	非毛管孔隙度 (%)	单独团聚体内孔隙度 (%)	毛管水持占孔隙度 (%) <sup>(1)</sup>	透水系数 $K_{10}$ <sup>(2)</sup>	蒸发量 (毫米/厘米 <sup>2</sup> 时) <sup>(3)</sup>	通气系数 <sup>(4)</sup>
浅色草甸土	1	56.8	15.8	—	—	1.41	—	—
	2	52.4	8.7	—	—	0.61	—	—
黄棕壤	1	57.2	13.7	46.2	—	—	0.10	—
	2	50.2	4.0	42.0	—	—	0.13	—
红壤	1	56.7	11.9	47.3	29.6	1.91	0.20	18.0
	2	54.5	9.6	43.1	25.5	0.48	0.52	10.9
江壤性水稻土	1	55.2	8.9	47.0	29.5	0.10 <sup>(5)</sup>	0.41	29.4
	2	50.2	8.7	43.3	26.5	0.10	0.43	16.4

注: (1) 由毛管水占有的孔隙减去束缚水占有的孔隙, (2) 第一小时内的平均透水系数, (3) 由田间持水量开始蒸发, 在第一个 12 小时内的平均值, (4) 灌水 4 小时后测定, (5) 因水稻土下面有犁底层顶水, 故差异不显。

## 二、土壤结构的形态

土壤结构的水稳性和孔隙性, 虽然可以在一定程度上反映出土壤肥力水平和鉴别某种措施的改土效应。但是, 这些数据的获得, 样品都经过处理, 破坏了原来土壤的性状, 不直接进行形态观察, 比较逼真。总结我国农民的经验, 结构性良好的土壤, 其中团聚体类似圆形, 棱角少, 表面粗糙度大, 有较多孔隙, 疏松柔软, 孔中根系较多, 放在水中可碎散成小团聚体, 如将团聚体湿润而稍加压力即可破碎。相反, 结构性不良的土壤, 团聚体呈稜形, 稜角多, 表面致密光滑, 孔隙少, 根系只附在团聚体表面。团聚体不易破碎, 放在水中不易散开, 要散就散成单粒。图 1、2 表示土壤外部形态, 图 1-右和图 2-右的结构形态比较好。

自从磨片技术(库比耶纳, 1938; 布雷尔, 1960)<sup>[9,10]</sup>应用于土壤研究之后, 可以用显微镜观察土壤结构的微形态, 研究土粒和团聚体的结合和排列状况, 探索孔隙的大小、形状及其分配, 借以区分不同土壤的结构性。阿斯孟和布雷尔<sup>[11,12]</sup>认为各类土壤具有本身固有的土壤组织(Soil fabric), 可以反映土壤中颗粒、团聚体和孔隙的分布及排列情况。如能了解团聚体的性质及其排列所组成的孔隙状况, 就可以确定土壤结构的性态。

根据不同土壤的磨片观察结果, 我们在土壤结构的微形态研究方面, 得到一些初步的概念: 团聚体本身及其相互之间的联结状况以及孔隙的形状和大小, 在不同土壤中有很明显的差别。草甸黑土中土粒的团聚有很多有机质参加, 一般团聚得比较疏松, 团聚体本身和团聚体之间的联结都比较疏松, 但不易散开, 微团聚体大小均匀分布, 相互联系, 并多呈环状和累迭式排列, 其相互联结由简单到复杂; 各种微团聚体的透光度强弱不同。有机质聚集多的地方, 累迭疏松, 透光度强; 而三氧化物聚积之处, 团聚体累迭较密, 透光度弱; 微团聚体本身有很多小孔隙, 也有大孔隙。孔隙形状极不规则, 弯曲度较大, 边缘不齐。孔隙间彼此是沟通的(图 3-1)。褐土的结构性则有所不同, 虽然微团聚体间相互的联结也比较疏松, 但微团聚体间的土粒排列比较致密。微团聚体多呈累迭式和环状排列, 大小差异较大。透光度弱的部分较多。团聚体内小孔隙较多, 孔隙形状不规则, 弯曲度较大, 边缘不齐。孔隙间彼此也是沟通的(图 3-2)。黄棕壤中土粒的团聚主要依靠粘粒, 故微团聚体本身和相互间的联结较紧, 微团聚体的排列除累迭式和环状外, 还有条状排列,

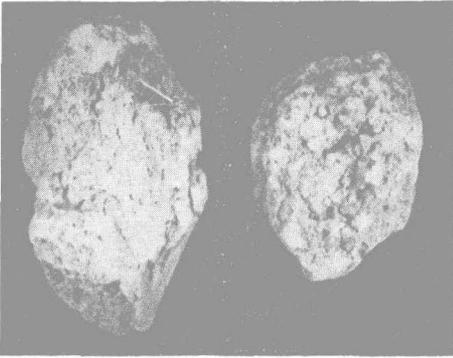


图1 浅色草甸土土块外形  
(采自河南封邱西大村)  
左——未经改良的土块  
(横直径 30 毫米)。  
右——种田薯改良后的土块  
(横直径约 30 毫米)。

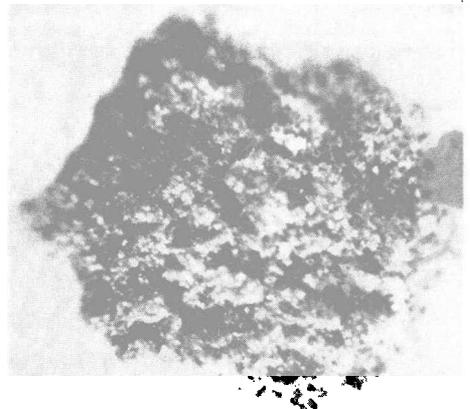
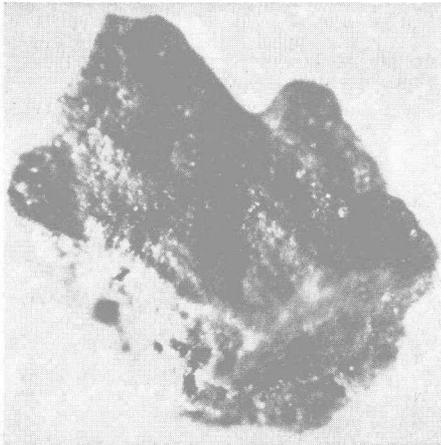
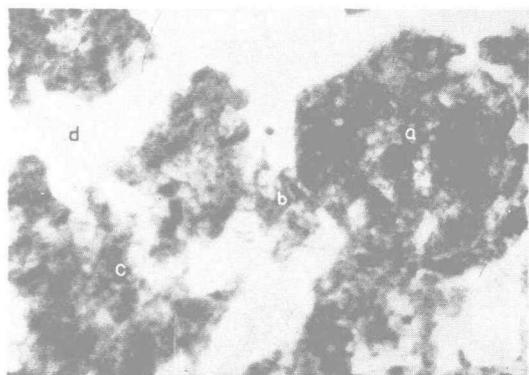


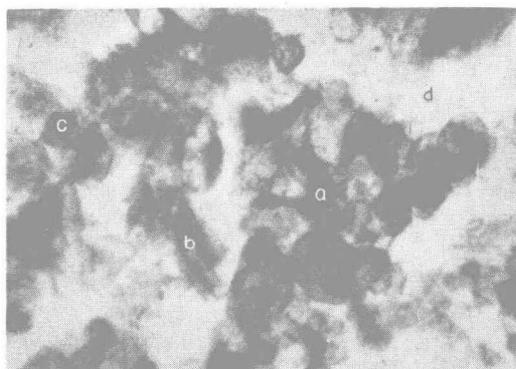
图2 红壤水稳性团聚体(1—0.5 毫米)的外形。放大 160 倍(采自江西进贤县云桥垦殖场)  
左——第四纪红土的团聚体； 右——乌色水稻土(乌泥田)耕层的团聚体

透光度很弱。微团聚体中以小孔隙为主,孔隙弯曲度差,孔隙彼此间的沟通程度较差(图 3-3)。红壤中的团聚体主要取决于粘粒和三氧化物的胶结作用<sup>[4]</sup>,团聚体本身和彼此间的联结都较紧密,但这种土壤有较强烈的收缩作用,在土体风干状况下也会出现裂隙(大孔隙)。微团聚体的排列以累迭式为主,透光度弱的部分较多。微团聚体中以小孔隙为主,孔隙弯曲度很差,边缘整齐(图 3-4)。砖红壤结构的微形态特征是:微团聚体排列非常紧密,多呈散状累迭。团聚体内孔隙很小。大孔隙的弯曲度不大,边缘很齐,彼此间沟通程度很差(图 3-5)。

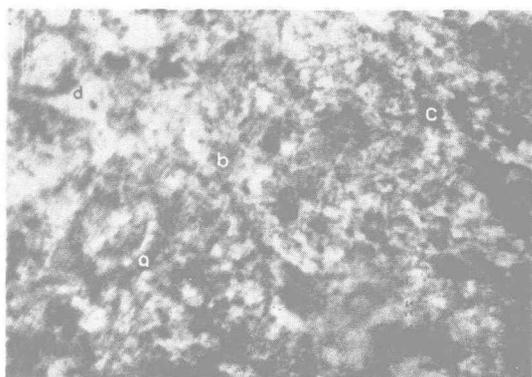
各种土壤,由于发生条件不一,微形态的结构特征有明显的差异。就是在同一种土壤上,由于耕作和施肥水平的不同,也能引起土壤结构的微形态变化。一般说,种植绿肥和比较肥沃的土壤,土壤结构的微形态,比较疏松,孔隙性也较好。浅色草甸土上翻压-季田薯,土壤结构就可以从致密变为疏松,孔隙也发育得较好(图 4)。不同肥力水平的红壤及红壤性水稻土上,土壤结构的微形态特征也有显著不同(图 5)。其特点是肥力水平较高的土壤中,土壤颗粒和团聚体的排列较松,交叉的网眼(孔隙)大,孔隙性好。在高倍显微镜视野下,土粒多呈环状排列。孔隙比较连续,并呈无定形树枝状。土色较黑,其中有较多小黑点(有机残体),而肥力水平较低的土壤,一般土粒排列紧密,孔隙少。在高倍显微镜视野下,土粒多呈累迭式排列。土壤结构的微形态特征,能直接鉴别土壤的结构性,但这工作尚属开始,有待进一步研究。



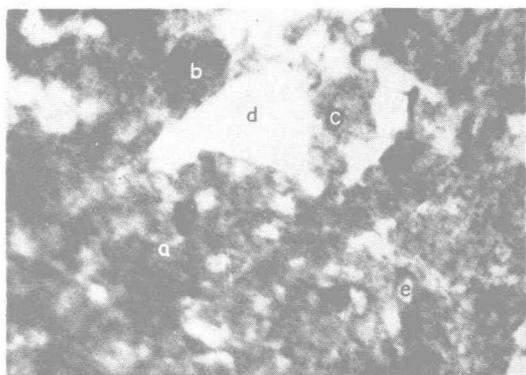
1—草甸黑土



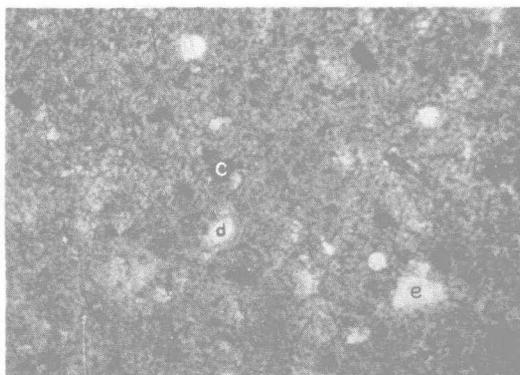
2—褐土



3—黄棕壤



4—红壤



5—砖红壤

图3 各类土壤(表层)的微结构形态特征(平行偏光,放大192倍)

a—团聚体; b—微团聚体; c—有机残体;  
 d—孔隙; e—矿物颗粒。

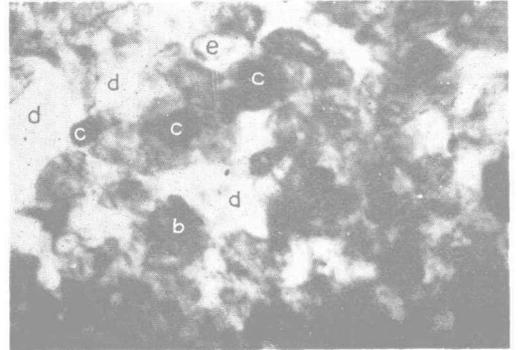
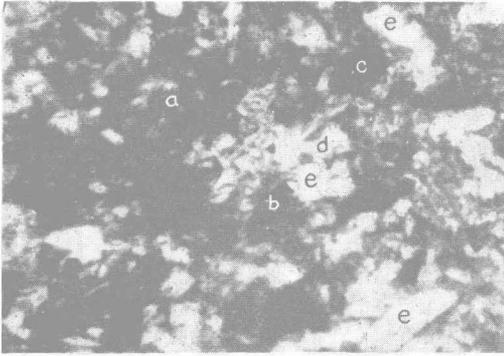
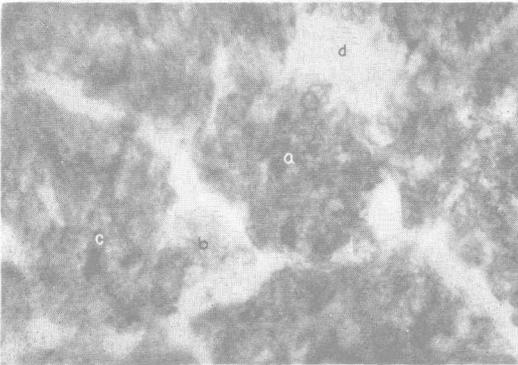
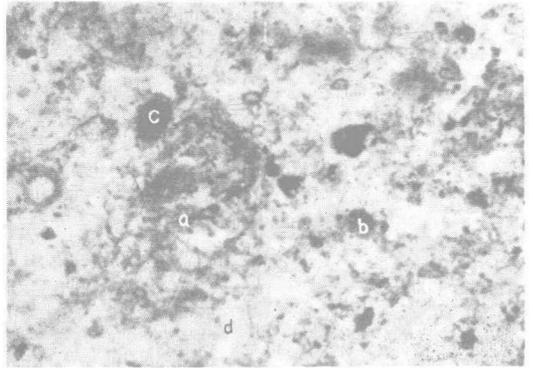


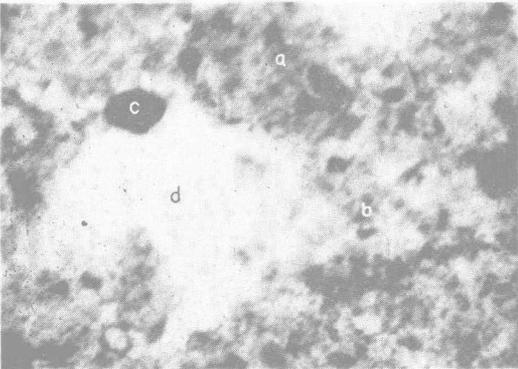
图4 浅色草甸土微结构形态特征(平行偏光放大64倍)  
 a——团聚体; b——微团聚体; c——有机残体; d——孔隙; e——矿物颗粒。  
 图左 麦槎地耕层 图右 綠肥地耕层(种田菁)



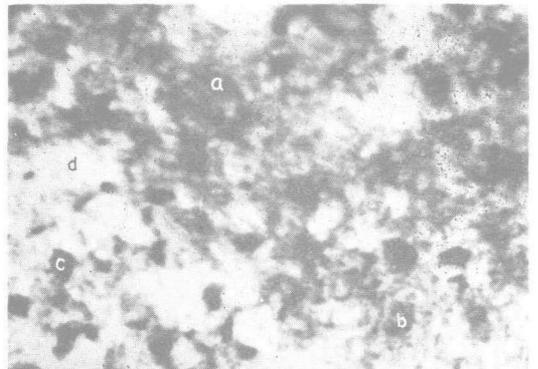
1—乌色红壤性水稻土(乌泥田)



3—暗色耕种红壤(乌黄土)



2—结板型红壤性水稻土(结板田)



4—浅色耕种红壤(黄土)

图5 各种红壤及红壤性水稻土的微结构形态特征(平行偏光放大192倍)  
 a——团聚体; b——微团聚体; c——有机残体; d——孔隙; e——矿物颗粒。

## 参 考 文 献

- [1] 熊毅、陈家坊: 提高土壤肥力在发展农业生产中的重要意义。土壤通报, 4 期, 1—5 页, 1963 年。
- [2] Вильямс В. Р.: Почвоведение. Сельхозгиз, М., 1947.
- [3] 中国科学院农业丰产研究丛书编辑委员会, 编写单位: 中国科学院土壤研究所: 水稻丰产的土壤环境。77—85 页, 科学出版社, 1961 年。
- [4] 姚贤良等: 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, 10 卷 3 期, 267—288 页, 1962 年。
- [5] 李继云等: 苜蓿对土壤改良与增产的效果。土壤学报, 8 卷 1 期, 13—21 页, 1960 年。
- [6] Качинский Н. А.: Природа механической прочности и водопрочности почвенной структуры в связи с её генезисом. Сборн. Тру. по Агрон. Физике, Вып. 8, 111—121, 1960.
- [7] 林景亮: 紫云英地下部不同深度和方式的翻压对水田土壤肥力的影响。土壤通报, 2 期, 50—59 页, 1961 年。
- [8] 宋炳奎等: 马同义的玉米丰产经验。土壤, 1 期, 17—19 页, 1961 年。
- [9] Kubiena W. L.: Micropedology. Collegiate press, INC, Ames Iowa, 1938.
- [10] Brewer R.: The petrographic approach to the study of soils. Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci., 1: 1—13, 1960.
- [11] Osmond G. A.: Micropedology. Soils and Fert., 21: No1, 1—5, 1958.
- [12] Brewer R.: Sleeman J. R.: Soil structure and fabric: Their definition and description J. Soil Sci., 11: No 1, 172—185, 1960.

## PHYSICAL AND MORPHOLOGICAL STUDIES ON SOIL STRUCTURE

Y. HSEUNG, YAO HSIEN-LIANG AND FAN JUN-WEI

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica*)

### Summary

The present paper deals with the physical and morphological studies of soil structure. In view of the fact that the aggregates formed by organic colloids are high both in water stability and porosity, effective on the improvement of soil structure and on the augmentation of soil fertility, and that those formed by clay and other cemented inorganic materials, though high in water stability, are low in porosity, unable to ameliorate soil structure and to increase soil fertility. The soil fertility, as affected by the content of water stable aggregates, depends, on the whole, upon the conditions in which the aggregates are formed. In the soil of good structure, well developed porosity represented by the augmentation of the total and non-capillary porosity, the porosity of aggregates and the porosity filled with capillary water may improve the physical properties of soils, increase aeration and water percolation and prevent to some extent from water evaporation.

A comparison of micromorphological structure between various soils shows that the arrangement of soil particles and aggregates is loose in prairie soil, modest in yellow drab soils, and compact in red soils. As is often the case with the same kind of soils, timely cultivation and fertilization (such as green manuring) make it possible an improvement in the micromorphological structure of soils. Taken as a whole, the soil with numerous pores and loose arranged soil particles and aggregates facilitates the improvement of soil structure and the augmentation of soil fertility.