

大寨海绵土微形态特征*

唐克丽

(中国科学院西北水土保持生物土壤所)

大寨海绵土是大寨大队在毛泽东思想指引下,在长期三大革命运动中,由低产土培育成的高产稳产土壤。这是劳动人民智慧的结晶,是群众性科学实验运动结出的丰硕之果。大寨大队科研组和许多科研、教学单位对海绵土的培育措施和经验曾进行了总结和研究,本文拟在过去工作的基础上应用微形态学的观点和方法,研究海绵土的微形态特征,以阐明大寨海绵土的“疏松软绵、结构性好、蓄水保墒”的肥力特性和土壤的熟化发育过程。

一、研究对象

大寨位于黄土高原东缘,太行山西麓,主要成土母质为黄土和黄土类沉积物。供研究的土样采自1973年,共有两组。一组是分布在梯田、沟坝地及人造平原的各类海绵土;另一类是未经改良的成土母质和改良差的教育青年田的土壤,以作对比。为分析比较方便

表1 土样的形态特征和培育措施

样品编号	类别	采样地点	采样深度(厘米)	土壤特征或培育措施说明
大寨1号 DZ.1	黄土性海绵土	射阳地梯田	10—15 40—45	各类海绵土共同特征是,土质疏松绵软,团粒结构明显,孔隙和生物孔洞发达,有大量根系和蚯蚓粪,土体内有腐烂,半腐烂的秸秆残体,以及炉渣碎屑。 DZ.1, DZ.2 心土层也有一定程度的熟化发育。
大寨2号 DZ.2	黑土性海绵土	赵背峪 沟坝地	10—15 40—45	
大寨3号 DZ.3	红土性海绵土	康家岭梯田	10—15	
大寨4号 DZ.4	当年人造平原	狼窝掌下游	10—15	1972—73年冬春建成。黄土性土壤。亩施农家肥约200担,其中炉渣秸秆、人粪尿约占1/3。多次耕犁细耙,当年亩产高粱1200斤。有一定的熟化发育。
大寨对照1号 DZ. T. 1	教育青年田	同左	10—15	黄土性土壤。原为地主一块好地,但未整修,按旧法耕作,因多年耕作也有一定的熟化发育。
大寨对照2号 DZ. T. 2	未改良黄土	母质层	10—15	系山梁梯田主要成土母质。
大寨对照3号 DZ. T. 3	未改良红土的心土层	康家岭梯田 心土层	40—45	是心土层,但紧实,基本无熟化发育。

* 研究用的土样是在大寨大队三结合科研组的指导和帮助下采集的;研究工作中,中国科学院南京土壤研究所熊毅同志提供了宝贵的意见,并由电镜实验室协助完成镜检分析;本所王玉、田昭明二同志曾参与部分工作;一并特此致谢。

计,把在黄土类沉积物上培育的称为黄土性海绵土(当地群众把黄土称为白土);在红土类沉积物上培育的称为红土性海绵土;沟坝地内的土壤有机质含量较多,呈黑色,称之为黑土性海绵土。土样的形态特征或培育措施列于表 1。

二、研究结果

(一) 土壤团粒分析

水稳性团粒结构的测定方法系采用毛管水湿润的土样,以每分钟上下 32 次的频率湿筛一分钟。

分析结果(表 2)是:海绵土中 > 0.25 毫米水稳性团粒的总量较对照土样有明显的提高。黑土性海绵土含量最高为 69.3%,其次是黄土性海绵土为 60.2%,红土性海绵土为 54.4%,未改良的黄土仅为 37.2%。教育青年田在解放前是地主的一块好地,虽经长期耕种,由于未采取相应的改土培肥措施,水稳性团粒的含量仍较海绵土低,为 52.3%。

表 2 海绵土与对照土样团粒结构的组成

编号及类别	取 样 深度 (厘米)	不同直径(毫米)团粒含量的% (分子——湿筛 分母——干筛)							团聚度% (>0.25 毫米)	团聚度 %(>5 毫米)
		>5	5—2	2—1	1—0.5	0.5— 0.25	<0.25	>0.25		
大寨 1 号 DZ.1 黄土性海绵土	10—15	$\frac{21.38}{28.16}$	$\frac{12.74}{26.84}$	$\frac{9.60}{10.40}$	$\frac{9.92}{13.04}$	$\frac{6.54}{8.00}$	$\frac{39.82}{13.56}$	$\frac{60.18}{86.44}$	69.2	75.5
	40—45	$\frac{18.32}{40.64}$	$\frac{12.28}{25.60}$	$\frac{10.22}{8.68}$	$\frac{8.44}{10.24}$	$\frac{5.90}{8.68}$	$\frac{44.84}{6.23}$	$\frac{55.16}{93.76}$	58.3	45.1
大寨 2 号 DZ. 2 黑土性海绵土	10—15	$\frac{18.56}{24.88}$	$\frac{15.00}{26.00}$	$\frac{12.00}{10.68}$	$\frac{15.48}{20.88}$	$\frac{8.28}{9.80}$	$\frac{30.68}{7.76}$	$\frac{69.32}{92.24}$	75.0	75.2
	40—45	$\frac{17.92}{48.00}$	$\frac{11.98}{26.60}$	$\frac{8.76}{7.04}$	$\frac{9.60}{7.28}$	$\frac{9.70}{4.04}$	$\frac{42.04}{7.04}$	$\frac{57.96}{92.96}$	62.3	37.3
大寨 3 号 DZ. 3 红土性海绵土	10—15	$\frac{21.65}{46.88}$	$\frac{6.74}{25.20}$	$\frac{6.61}{8.48}$	$\frac{9.55}{12.40}$	$\frac{9.89}{4.32}$	$\frac{45.56}{2.72}$	$\frac{54.44}{97.28}$	55.9	46.3
大寨 4 号 DZ. 4 当年人造平原	10—15	$\frac{1.78}{34.08}$	$\frac{4.36}{22.03}$	$\frac{7.98}{10.18}$	$\frac{13.20}{11.12}$	$\frac{12.24}{8.48}$	$\frac{60.44}{14.08}$	$\frac{39.56}{85.92}$	46.0	5.2
大寨对照 1 号 DZ. T. 1 教育青年田	10—15	$\frac{16.14}{29.40}$	$\frac{8.74}{26.18}$	$\frac{7.82}{18.00}$	$\frac{9.96}{22.00}$	$\frac{9.67}{3.44}$	$\frac{47.66}{0.98}$	$\frac{52.33}{99.02}$	52.7	55.0
大寨对照 2 号 DZ. T. 2 未改良黄土	350以下	$\frac{1.29}{70.24}$	$\frac{7.48}{10.64}$	$\frac{9.64}{2.32}$	$\frac{10.30}{2.32}$	$\frac{8.45}{1.84}$	$\frac{62.84}{12.64}$	$\frac{37.16}{87.36}$	42.5	1.8
大寨对照 3 号 DZ. T. 3 未改良红土心土层	40—45	$\frac{1.98}{60.08}$	$\frac{4.41}{22.52}$	$\frac{8.06}{5.60}$	$\frac{15.99}{7.84}$	$\frac{12.90}{3.20}$	$\frac{55.66}{0.76}$	$\frac{44.34}{99.24}$	44.7	3.3

$$\text{团聚度} = \frac{\text{湿筛团粒重}}{\text{干筛团粒重}} \times 100$$

各类海绵土的团聚度,特别是 > 5 毫米部分的团聚度较未改良的土壤要高得多。前者最高达 75%,后者仅为 2%左右。由于黄土性与黑土性海绵土的活土层深厚,作物根系发达,蚯蚓活动旺盛,直接影响和促进心土层的发育。该土层 > 0.25 毫米水稳性团粒的含量,尤其是 > 5 毫米部分的团聚度均高于未改良的黄土,甚至略高于教育青年田的耕作层。

用上述方法测定水稳性团粒结构,虽可反映海绵土与对照土壤之间数量的差别,但这些差异未能反映土壤的生产水平,似有待于微形态的研究。

(二) 土壤微形态观察

土壤薄片的制备采用松香、二甲苯(4:1)为固结剂,磨片厚度为 0.03 毫米,本文选用的土壤薄片照片均为横截面。

薄片在显微镜下的观察,未改良的黄土(图版 I, 1)呈浅黄棕色,未改良的红土(图版 I, 2)呈浅红棕色,颜色都比较均匀,未见腐殖质浸染。结构体极为紧密,未形成团聚体,孔隙极少,分布有少量圆形孔隙,大小约 0.15—0.35 毫米。薄片的纵截面常见裂隙状孔隙,孔隙宽度为 0.05—0.2 毫米。结构体内未见根系或其它有机类物质。矿物颗粒之间的胶结物质主要是粘粒和碳酸盐类,基本上为基底式胶结。以上这些微结构性状说明土壤未经熟化,团聚体基本上没有形成,孔隙度差,不利于通气和蓄水保墒。因此,其肥力水平不高。

教育青年田的耕种年限远较海绵田长,但由于没有采取建设海绵田那样的措施,微结构体内团聚体发育很差。在显微镜的观察下,薄片(图版 I, 3)中虽见有团聚体,但团聚体内部结构致密,腐殖质浸染或胶结的程度比较差,团粒之间的孔隙少,总孔隙度小。

海绵土的微结构与对照土样有着明显的差别。各类海绵土基本上都是在上述那种结构差,未改良生土基础上培肥而成的。仅经历了二十余年,甚至更短的时间,土壤的发育程度和微结构形态已起了质的变化,主要表现在微结构体的团聚性和孔隙性以及海绵土的熟化。现分别讨论于后。

(三) 海绵土微结构体的多级团聚性

海绵土的微结构体由大小小圆形的和椭圆形的各级团聚体组合而成(图版 I、II, 4—9)。其微团聚体之间的联结比较疏松,多呈海绵多孔状。团聚体组合基本上可以分为三级。

一级微团聚体(I_1)大小如针尖,直径为 0.05—0.1 毫米;二级微团聚体(I_2)为 0.1—0.5 毫米;三级微团聚体(I_3)为 0.5—2 毫米。一个大小为 1 毫米左右的三级微团聚体,往往由几个或十几个(平面计数)一级与二级的微团聚体组合而成(图版 I、II, 5、6、8中的 I_3)。团聚体的多级组合通常可在黑钙土的腐殖质层中见到,这是在草甸草原植被下,长期自然成土过程的结果。在人为措施下,短期内培肥而成的海绵土,也有多级团聚体的形成,说明土壤的熟化度已相当高。另外,还可以看到,各级团聚体都受不同程度的腐殖质浸染或为半腐烂分解的有机质残体所胶结。整个土体以棕褐色为主,但在腐殖质浸染部分颜色较深,透光度差。黑土性海绵土的团粒被腐殖化有机质的浸染程度较深,呈深褐色。

在团聚体组成方面,除绝大部分团聚体是由有机物质与矿物颗粒、粘粒相互胶结而成外;还有一些以圆形为主而边缘比较光滑的团聚体,多属蚯蚓的排泄物以及炉渣碎屑与土粒、有机物等胶结而成的团聚体等。

以当年人造平原与未改良黄土的水稳性团粒数据相比,两者几乎相等,分辨不出这两种土壤的差别。但从微形态观察资料却展示出这两种土壤有很大差别(图版 I、II, 1 与 7)。未改良黄土微结构体紧实,没有团聚体,孔隙少,当年人造平原的微结构体呈疏松、有团聚体,孔隙多,整个微形态特征与海绵土接近。

(四) 海绵土微结构体的复杂孔隙性

由于各级微团聚体彼此的联接与组合,形成了多种多样的孔隙,包括微团聚体内部的孔隙(II_1)和微团聚体之间的孔隙(II_2)。这些孔隙的形状多不规则,弯曲度大,边缘不整齐,彼此基本联接与沟通,呈网格状、树枝形、三角形和不规则的多角形等。一个三级团聚体内部的孔隙,往往由一级与二级微团聚体相互联接处的孔隙组合而成,多为毛管孔隙,孔径 0.05—0.1 毫米,成为良好的蓄水仓库(图版 II, 8、9)。较大团聚体之间的联接处,呈较大的孔隙状态,孔隙大小 0.1—0.3 毫米,也有超过 0.3 毫米的。此外,微结构体内常见有蚯蚓活动的孔道及其团粒状排泄物形成的孔隙(图版 III, 13);根系及有机物质腐烂分解后所残留的孔隙以及其他生物孔隙等。这些丰富的微孔隙为蓄水通气,改善物理性状创造了良好的条件。

我们用网格计算显微镜下不同土壤微结构体的孔隙率(平面计算)。未改良的黄土仅为 4.6%,黑土性海绵土最高为 18.1%,其次是黄土性海绵土 15.2%,红土性海绵土为 13.0%,都较未改良的土壤提高 3—4 倍以上。1 毫米团聚体由于其组成物质及各级微团聚体组合不一,孔隙率为 0.2—7.6%。未改良的土壤不仅孔隙率低,而且孔隙是分布在紧密的微结构体内,彼此不相联接,或呈垂直裂隙。这类孔隙显然不利于通气和蓄水保墒。海绵土微结构体内的高孔隙率及孔隙排列组合的多种形态,可认为是海绵土蓄水保墒和抗旱耐涝能力强的一个重要因素。例如大寨大队 1972 年大旱,1973 年春季土壤含水量降低到历年来最低水平,但海绵土的蓄水量仍比非海绵土的要高出 5%。

(五) 土壤熟化的微形态特征

薄片微结构体内的有机物质,在正交偏光下,无光性;在单偏光下,呈浅棕色至深褐色。按有机物质(III)的不同分解程度,其微形态可分为三类。第一类(III_1)是初始腐烂分解的有机残体,或称为粗腐殖质化有机质,尚保存有可识辨的植物组织(图版 II, 10)。它们是促使土体疏松,形成团粒结构和孔隙的基础物质。第二类(III_2)是半腐烂半腐殖质化的有机质。有机残体强烈分解成类似定向排列的粘粒,它们与矿物颗粒、粘粒相互融合,有的则胶结成团聚体(图版 II, 11)。这一类有机物质已失去可辨的植物组织,但就其无光性和粘粒化的特征,可与土体中的其他物质予以鉴别。第三类(III_3)是基本腐殖质化的有机物质,类似棕褐色胶膜渗入土体,它们与矿物颗粒、粘粒等形成有机无机复合体,或胶结成团聚体。被这类物质浸染的土体颜色变深,呈棕褐色(图版 II, 12)。上述三类有机物质的微形态,展示了有机质腐烂分解的各个阶段,土肥相融的肥力发展过程,以及土壤有机无机复合及团粒结构的形成。

海绵土中的无机物质主要指原生矿物颗粒、粘粒及其他盐类,其组成、大小及形态与对照土样没有明显的差别。图版 III 照片 14 中的 IV 为碎屑矿物颗粒,以石英、长石、云母为主;大小为 0.015—0.045 毫米,而以 0.03 毫米占多数,个别可大于 0.05 毫米;多呈棱角、半棱角外形,也有呈滚圆状态;机械组成以细粉砂为主。海绵土中这些矿物颗粒与半腐烂

有机质残体组成土壤骨骼的主要部分,并与粘粒和细分散的有机物质相结合,是土壤有机无机复合体发育的基础。

组成海绵土骨骼的另一物质是炉渣碎屑(照片中的 V),在微结构体内分布较多,大小为 0.05—1.5 毫米,有的与矿物颗粒、粘粒等胶结成团聚体。炉渣是随同秸秆肥施入土中的客土物质。

蚯蚓活动是海绵土生物作用活跃性的又一表现。在微结构体中常见有为量不少的蚯蚓孔洞及其排泄物。蚯蚓孔道形式不一,横截面 0.3—3 毫米(图版 III, 13)。在其他对照土样中,生物孔洞和蚯蚓粪均极少见。海绵土中蚯蚓孔洞及其排泄物的微形态特征,也是表现其肥力和熟化度高的标志之一。

(六) 海绵土的电子显微镜观察

海绵土微形态的电子显微镜观察着重研究土壤中有机无机胶体的复合性状,研究土样有三种: 1、未经改良的生土即黄土; 2、在生土基础上改造而成的黄土性海绵土; 3、前一种黄土性海绵土经浸水湿筛后所保存的 1—2 毫米的水稳性团粒。放大倍数为 2 万倍。

未经改良的黄土,其单个矿物的表面未见有机物质的积聚,而有较多量的棒状碳酸钙结晶,说明未经改良的黄土中,有机物质极少,没有有机无机复合胶体(图版 III, 15)。

黄土性海绵土及其水稳性团粒经分散后的样品,在电子显微镜下可以看到: 在单个的矿物颗粒表面及矿物颗粒之间,常有未腐殖化的有机质残迹,它们在形成土壤水稳性团聚体中起着重要的作用。这些有机物质或包裹于矿物颗粒的周围;或积聚于矿物颗粒的表面,有的则与矿物颗粒紧密相联接,成为矿物颗粒的胶结物质(图版 III, 16、17)。此外,有些单个矿物颗粒表面和非腐殖质化的有机质残迹表面,还可以见到直径为 200 埃左右的细小颗粒(图版 III, 18)。这些颗粒可能是有机分子的聚集体,属于有机物质分解的产物。上述这些特征说明海绵土中有机无机复合胶体已有一定的发育。

三、结 语

大寨海绵土的培育成功,为广大地区,特别是黄土高原地区建设稳产高产农田提供了极其宝贵的经验。大寨海绵土是在较短时期内,通过耕种培肥等一系列人为措施,从低产性黄土培育而成的。它具有丰富的团粒结构性状和较高的肥力水平,充分显示了人类改造自然的能动作用。

采取常用的团粒结构湿筛法,在一定程度上,能反映海绵土与对照土样的差别。但不能完全反映海绵土的肥力状况及其丰富的结构性状。

通过偏光显微镜和电子显微镜观察研究海绵土的微形态特征,弥补了以上的不足。研究资料表明: 以疏松软绵、保水保肥为基本特点的海绵土具有 1、明显的团聚性和多级团聚体组合; 2、多孔隙性及孔隙组成和形态的多样性; 3、有机无机胶体复合促进土肥相融。

海绵土的培肥过程中,大量秸秆等有机肥为加速土壤熟化和团粒结构提供了必须的有机胶结物质。土壤薄片的偏光显微镜观察,揭示了微结构体内有不同分解程度的有机质,及其与土体相融而形成团聚体的胶结作用。电子显微镜的观察,进一步揭示有机质的

分解产物与无机胶粒相结合的性状,说明有机无机复合胶体的形成和发育。

参 考 文 献

- 大寨大队党支部, 1975: “海绵田”里闹革命。中国农业科学, 第 1 期, 1—6 页。
 大寨大队三结合科研组, 1975: 大寨田的建设和培肥。土壤, 第 1 期, 1—9 页。
 大寨大队科研小组, 1975: 大寨田的建设及其肥力特征。中国科学, 第 6 期, 593—601 页。
 大寨大队三结合科研组, 1975: 从大寨改土的实践看土壤学理论的发展。人民日报, 11 月 4 日。
 山西农学院土壤农化专业, 1975: 土壤学。人民教育出版社。
 大寨大队三结合科研组, 1977: 大寨田的土壤肥力特性及其对增产的作用。中国农业科学, 第 4 期, 41—47 页。
 中国科学院贵阳地球化学所, 1977: 大寨田土壤物质组成和微结构特征的初步研究。资料。
 中国科学院西北水土保持生物土壤所, 1975: 大寨海绵土结构性状研究初报。资料。
 中国科学院西北水土保持生物土壤所, 1977: 大寨海绵土微结构特征。资料。

MICROMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE MELLOW SOIL OF TACHAI BRIGADE IN SHANSI PROVINCE

Tang Ke-li

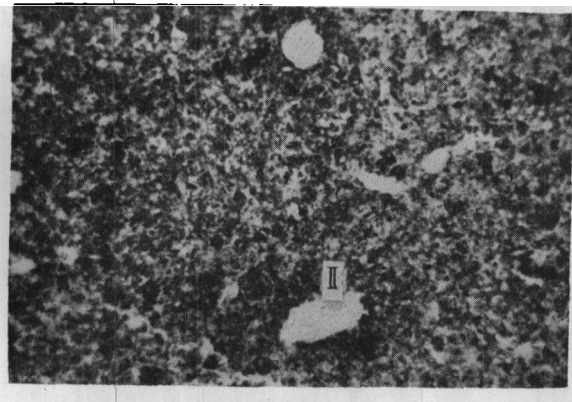
(Northwestern Institute of Soil Conservation, Biology and Pedology, Academia Sinica)

Summary

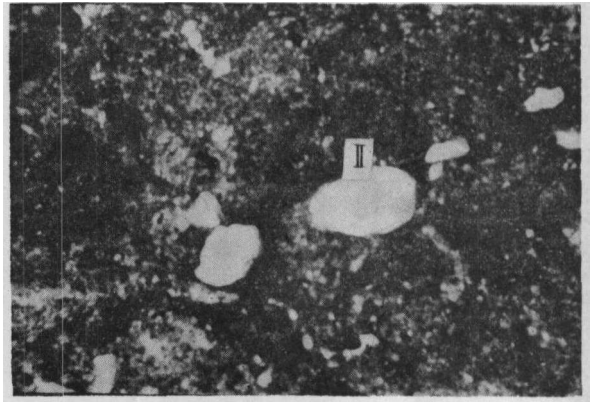
This paper deals with the mellow soil of Tachai Brigade in Shansi Province developed from loessal deposits by long term fertilization and intensive cultivation within a period of more than score years. The micromorphological characteristics of this soil was investigated. It was found that there were a great number of compound aggregates, considerable voids with various size and shape, and abundant organic matters decomposed in different levels in the soil.

It was also shown by the electron-microscopic observation that the humified organic matter in the soil were combined with mineral components, thus forming the organo-mineral complex.

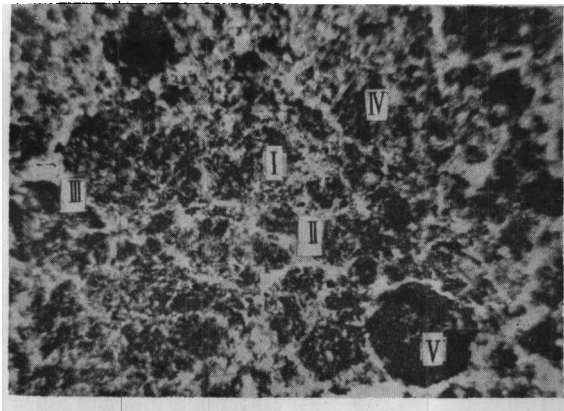
The excellent permeability, resistance to drought and high fertility of the mellow soil are closely related to their micromorphological characteristics.



照片 1 未改良黄土 ×20 单偏光
紧实的微结构体,未形成团聚体,
见有少量的圆形孔隙 (II)。

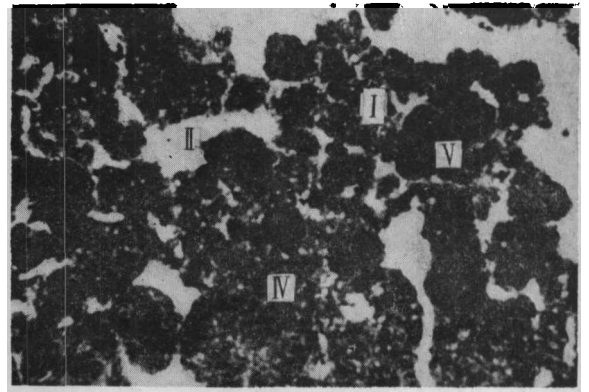


照片 2 未改良红土 ×20 单偏光
致密的微结构体,未形成团聚体,
见有少量的圆形孔隙 (II)。

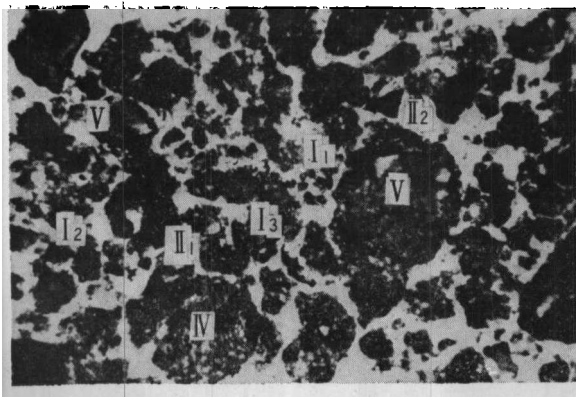


照片 3 教育青年田土壤 ×20 单偏光
微结构体较疏松,初步形成一定
的团聚体,团聚性差。

I——团粒; II——孔隙; III——有机质残体; IV——原生矿物颗粒; V——炉渣碎屑。



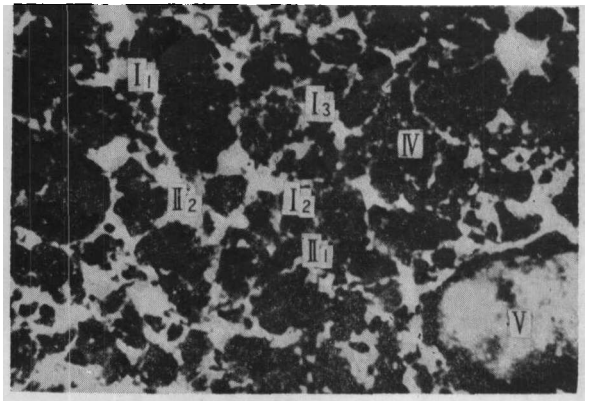
照片 4 红土性海绵土 ×20 单偏光
疏松的微结构体内表现有明显
的团聚性与多孔隙性。



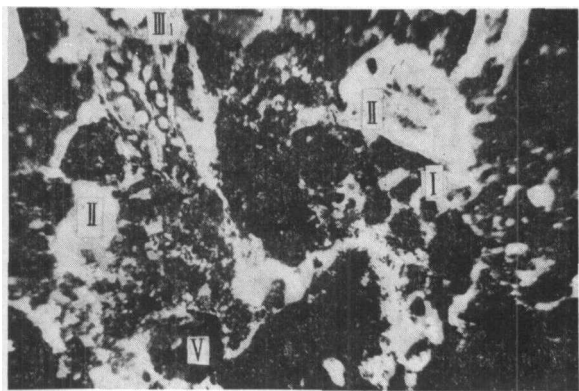
照片 5 黄土性海绵土 ×20 单偏光

海绵状疏松的微结构体,明显的团聚性与多孔隙性。

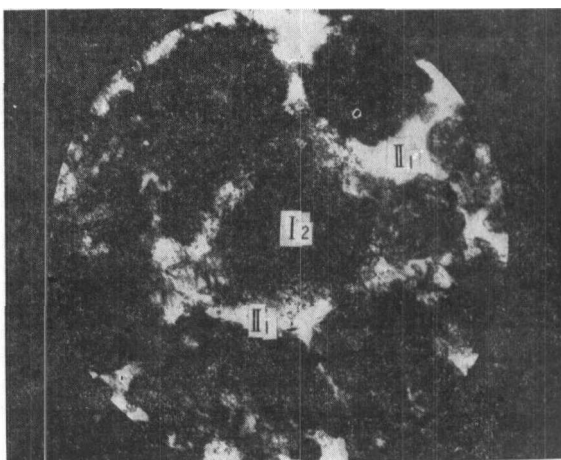
I₁——一级微团聚体 0.05—0.1 毫米; I₂——二级微团聚体 0.1—0.5 毫米; I₃——三级微团聚体 0.5—2 毫米; II₁——团聚体内部的孔隙; II₂——团聚体之间的孔隙; IV——原生矿物颗粒; V——炉渣碎屑。



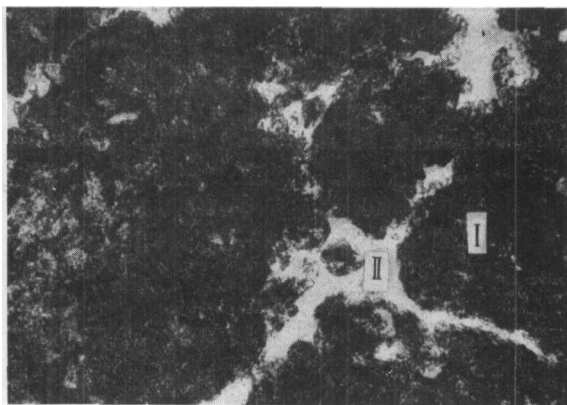
照片 6 黑土性海绵土 ×20 单偏光



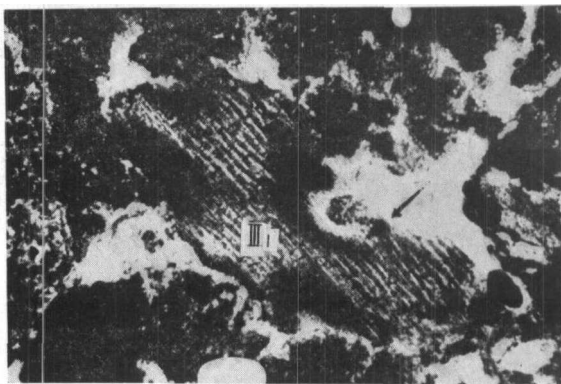
照片7 当年人造平原土壤 ×20 单偏光
微结构体内见有大小不等的微团聚体 (I)、多种孔隙(II)、半腐烂分解的有机质残体(III)及炉渣碎屑 (V)。



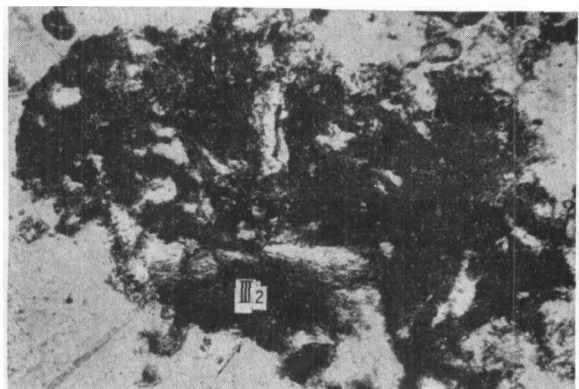
照片8 黑土性海绵土 ×100 单偏光
由八个0.1—0.2毫米的二级微团聚体 (I₂)组合而成的三级微团聚体, 团聚体内部形成弯曲状的毛管孔隙(II₁)。



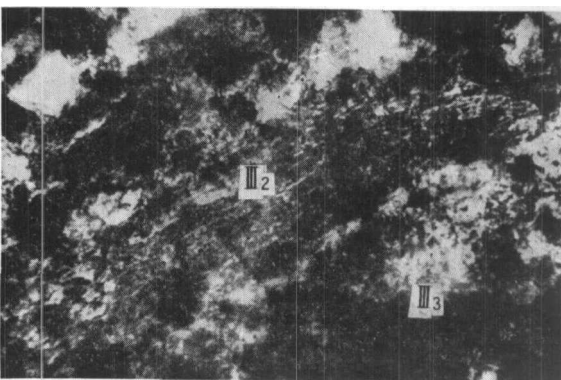
照片9 黑土性海绵土 ×62.5 单偏光
微团聚体 (I) 之间的联接处形成网格状的孔隙 (II)。



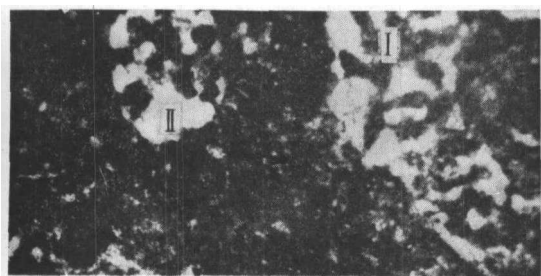
照片10 黄土性海绵土 ×58 单偏光
微结构体内尚保持原形的半腐烂分解的有机质残体(III₁)。



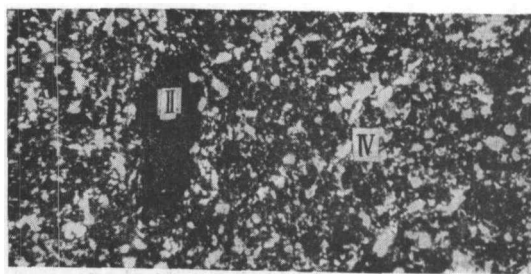
照片11 当年人造平原土壤 ×140 单偏光
半腐烂分解的有机质残体(III₂)与矿物颗粒、粘粒相互胶结的团聚体。



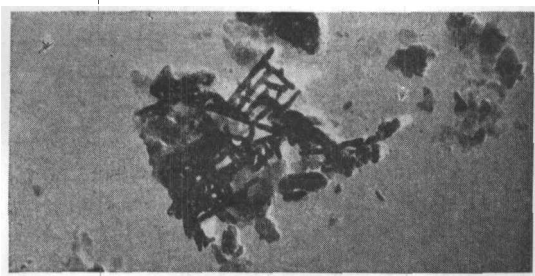
照片12 黄土性海绵土 ×350 单偏光
粘粒状半腐烂分解的有机质残体 (III₂) 及腐殖质化的深褐色胶膜(III₃)与矿物颗粒、粘粒相互渗透和胶结的状况。



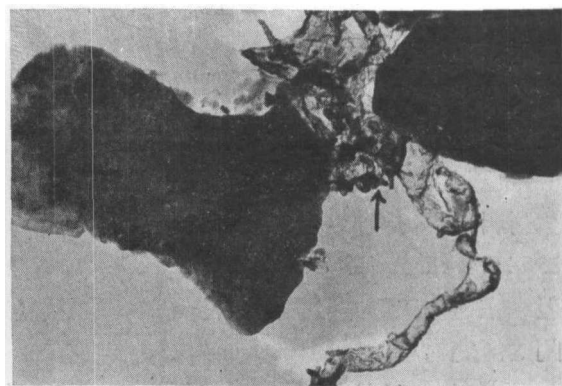
照片 13 黄土性海绵土 ×45 单偏光
微结构体内的蚯蚓孔洞(II)及微团聚体
形态的排泄物(I)。



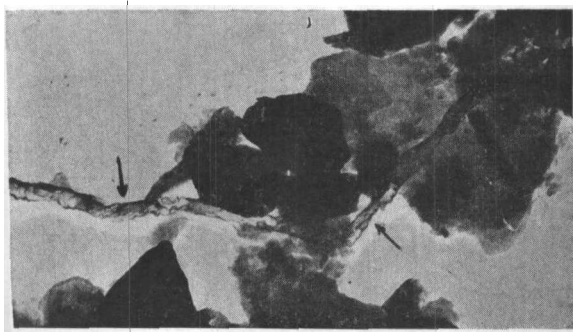
照片 14 未改良黄土 ×45 正交偏光
微结构体内矿物颗粒的组成和分布。
II——孔隙； IV——原生矿物颗粒



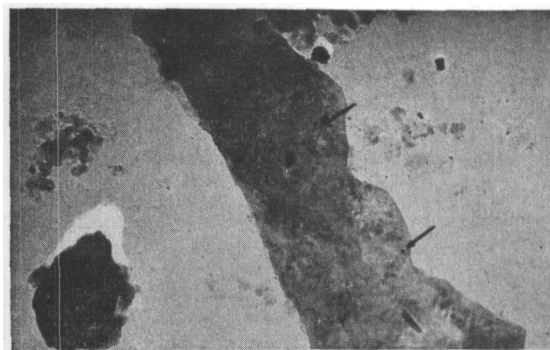
照片 15 未改良黄土 ×20000 电镜
矿物颗粒之间未见任何有机物质残迹，见
有大量的碳酸钙棒状结晶物。



照片 16 黄土性海绵土 ×20000 电镜
未腐殖质化的有机物质残迹与矿物紧密
结合的性质。



照片 17 黄土性海绵土 ×20000 电镜
取自 1—2 毫米水稳性团粒的样品。未腐殖质化的
有机物质残迹与矿物紧密结合的性状。



照片 18 黄土性海绵土 ×20000 电镜
土壤有机无机复合体发育的一个特征：矿物
表面聚集有细小的有机分子颗粒。