

论蚯蚓对土壤结构形成及性态的影响*

黄福珍

(中国科学院西北水保生物土壤研究所)

土壤结构是土壤肥力的重要指标之一。许多研究者(熊毅, 1965; Leenher, 1958; Boeckel, 1963)认为,良好的结构能调节土壤中的水、热、空气和生物状况,能充分发挥植物营养元素的作用,提高养分的供应能力。但是并非所有土壤结构都是良好的结构。熊毅认为:由有机胶体和无机胶体不可逆凝聚形成的水稳性团聚体,对提高土壤肥力有良好的作用。而由土粒紧密排列形成的水稳性团聚体对农业生产,往往起不良的作用。

如何创造良好的土壤水稳性团聚体。当前主要通过增施有机肥,扩种绿肥或施用高分子结构改良剂等农业技术措施。而对土壤中一个非常活跃的生物因素——蚯蚓,在形成优良土壤团聚体中的作用,却被忽视或埋没了。为了阐明蚯蚓对土壤结构的形成和对土壤结构性态的影响。我们作了蚯蚓对土壤结构形成的速度、形态和微结构的观测研究及蚯蚓团聚体的性质和有机无机复合体的电子显微镜观察。现将结果分述如下:

一、蚯蚓对土壤结构形成的影响

肥沃的土壤,要求有良好的结构。而蚯蚓由于本身生命活动的需要,日日夜夜在土中吞食土壤及有机物质,并经分解、转化和聚合,形成大量良好的土壤结构。

为了了解蚯蚓对土壤结构形成的速度及不同科、属蚯蚓的加工能力。我们将采自北京、安徽、武功、福建四个地区的环毛属(*Pheretima*)、杜拉属(*Drawida*)和异唇属(*Allolobophora*)蚯蚓。在室内气温 17—22℃ 条件下,利用采自田间的土壤,加入占土重 4% 的半腐的桤柳和玉米秸秆,在玻璃培养缸中,维持土壤毛管持水量的 70%,避光培养,进行观察测定。各种蚯蚓除北京环毛属形成结构的速率,采用每天称量测定外。其它品种均取 10 条,培养一个月,然后人工检出蚯蚓形成的团聚体。进行称量,计算平均值。

从表 1 测定结果可以看到:四个地区的蚯蚓,除异唇属外,每天形成土壤团聚体的重量,为蚯蚓本身重量的 1.3 倍至 2.9 倍。平均可达本身体重的 1.7 倍左右。因此土壤中蚯蚓的群体,假如每亩增加到 10 万条。一年内加工形成的团聚体,即可达 5—6 万斤。相当于一寸土层全部通过蚯蚓加工改造过。野外观察也表明,在田间自然条件下。当环境适宜时,蚯蚓加工的速度还要快得多。例如汉江冲积平原,在一次淹水淤积 90 多厘米的泥沙后,经过不到一年时间,蚯蚓在淤积层形成的团聚体,已占土体的 30% 左右。可见蚯蚓虽是微小的土壤动物,但它像“微型的改土车间”,对土壤结构形成的速度是很惊人的。

* 电子显微镜观察承中国科学院南京土壤研究所电镜室及顾新运等大力帮助,微结构磨片由我所唐克丽提供,谨致谢意。

表 1 蚯蚓形成土壤结构的速率

蚯 蚓	采集地点	供试土壤	蚯蚓体重 克/条	形成团聚体重 克/天	团聚体/体重
环毛属 <i>Pheretima</i>	安徽蚌埠	淮河冲积土	0.52	1.06	2.04
环毛属 <i>Pheretima</i>	安徽蚌埠	渭河冲积土	0.54	0.88	1.63
环毛属 <i>Pheretima</i>	北 京	浅色草甸土	1.20	3.50	2.91
环毛属 <i>Pheretima</i>	福建晋江	耕种红壤	0.91	1.44	1.58
环毛属 <i>Pheretima</i>	陕西武功	塬 土	0.47	0.62	1.32
杜拉属 <i>Drawida</i>	陕西武功	塬 土	1.05	1.64	1.56
异唇属 <i>Allolobophora</i>	陕西武功	塬 土	1.30	1.10	0.85

从表 1 结果还可看到,不同科属的蚯蚓,形成土壤团聚体的能力也不一样。例如正蚓科的异唇属(*Lumbricidae Allolobophora*)蚯蚓。在同样土壤条件下,加工形成团聚体的数量则不如鉅蚓科的环毛属(*Megascolecidae Pheretima*)和链胃科的杜拉属(*Moniligastridae Drawida*)蚯蚓。而同一品种对不同土壤的活动能力也有差异。例如安徽环毛属蚯蚓,在淮河冲积性轻壤土中,形成团聚体的重量,达到本身体重的 2.04 倍。而且在渭河冲积性轻壤土中,形成团聚体的重量只有本身体重的 1.6 倍。这说明蚯蚓作为一个生物有机体,由于本身品种的复杂性及与外界生态环境的相互关系。在不同地区,不同土壤和环境条件下,它们的活动能力和作用强度是不一样的。因此选育适应性广、活动力强、繁殖率高的优良品种,是一个值得进一步研究的问题。

二、蚯蚓对土壤结构形态的影响

1. 蚯蚓对结构粒径及外部形态的影响

蚯蚓从出茧至发育成熟的过程中,在土壤中形成各种粒径的团聚体。从表 2 可以看

表 2 蚯蚓出茧至发育成熟过程中形成团聚体的粒径

蚯 蚓	出茧一天		出茧十天		一个月		三个月		六个月		成熟	
	体重 (克)	微团聚 体粒径 (毫米)	体重 (克)	粒径 (毫米)								
小环毛蚓	0.007	<0.15	0.011	<0.15	0.085	0.15—0.25	0.30	0.25—0.5	0.43	0.5—2.0	0.54	0.5—2.0
杜拉蚓	0.010	<0.15	0.016	0.15—0.25	0.120	0.15—0.5	0.39	0.25—1.0	0.71	0.5—2.0	1.12	0.5—3.0
异唇蚓	0.014	<0.15	0.026	0.15—0.25	0.135	0.25—0.5	0.48	0.5—2.0	0.88	0.5—3.0	1.32	1.0—3.0

到蚯蚓出茧后即开始吞食土壤,并形成小于 0.15 毫米的微团聚体。10 天以后体重长至 11—26 毫克,此时形成的微团聚体,粒径多在 0.15—0.25 毫米之间。生长至一个月,微团聚体的粒径逐渐增大到 0.5 毫米之内。三个月小环毛属蚯蚓形成的粒径在 0.25—0.5 毫米。杜拉属形成的粒径从 0.25—1.0 毫米。异唇属形成的粒径则达 0.5—2.0 毫米。其中尤以 0.5—1.0 毫米占多数。生长半年以后,形成团聚体的粒径一般达 0.5—2.0 毫米。至发育成熟,大约需一年左右,此时团聚体的粒径已达 0.5—3.0 毫米,但集中粒径仍以 1—2

毫米为主。

这些团聚体的形态(图版 I, 照片 1-1, 1-2, 1-3), 不管粒径大小, 即使小至 0.15 毫米。都具有一个共同的特征: 即呈有规则的卵圆、椭圆或长圆形的形态。并具有疏松、绵软、孔隙多、水稳性较强的优点。

为了比较蚯蚓和非蚯蚓形成的团聚体形态的区别。我们将通过 0.25 毫米筛孔的土壤, 分为自然冻融、施有机肥、有机肥加蚯蚓和种植绿肥等处理。经一年后观测, 发现凡无蚯蚓活动的处理。形成结构的形态(图版 I, 照片 2-1, 2-2, 2-3), 多呈不规则的小稜块状、碎块状和带稜角的小核粒状。表面凹凸不平, 稜角多较坚实、但在水中又易分散。而有蚯蚓活动的处理, 除有上述形态的结构外, 则有大量有规则的卵圆、椭圆和长圆形的团聚体出现。

田间观测亦有类似结果*, 例如我们选择种植四年苜蓿的土壤和相邻同一土壤的农地, 进行调查测定(表 3), 发现苜蓿地大于 0.25 毫米的水稳性团聚体比农地增加 61.7%。而蚯蚓的数量也有显著差异。农地每平方米只有蚯蚓 36 条, 而苜蓿地每平方米达 91 条, 比农地增加 1.5 倍。把二种土壤 0.25—5 毫米的团聚体, 置立体显微镜下观察, 并根据形态区

表 3 不同利用条件下土壤结构组成与蚯蚓的关系

土壤	蚯蚓数量 条/米 ²	团 聚 体 的 组 成 (%)							>0.25 团聚度 %	卵圆长圆 结构占 0.25—5毫 米结构%
		>5	5—2	2—1	1—0.5	0.5—0.25	<0.25	>0.25		
普通农地	36	0.81 32.2	3.44 31.67	4.97 9.80	11.08 10.82	19.86 2.10	59.84 13.41	41.16 86.59	47.53	10.31
四年苜蓿地	91	1.35 16.8	3.35 32.24	11.08 19.50	19.18 21.80	31.60 4.80	33.44 4.86	66.56 95.14	69.96	34.20

注: 分母为干筛, 分子为湿筛结果。

分和称量。发现苜蓿地团聚体中, 卵圆、椭圆和长圆形的结构, 占团聚体重量的 34.2%, 而农地只占 10.3%。其它如团聚体的组成和团聚度亦和蚯蚓的数量有关。例如蚯蚓多的苜蓿地, 在团聚体的组成中, 2—0.5 毫米的团聚体比农地显著增加。其中干筛增加一倍多, 湿筛增加 88% 以上。土壤团聚度也提高 47% 左右。

上述结果表明, 土壤中有规则的卵圆、椭圆和长圆形结构的形成和蚯蚓的活动和数量, 密切相关。因此初步认为: 肥沃的旱地土壤中, 这种有规则的卵圆、椭圆和长圆形的团聚体, 绝大部分是蚯蚓生命活动的产物。

2. 蚯蚓对结构内部形态的影响

从蚯蚓团聚体的磨片显微镜照片(3)可以看到蚯蚓形成的团聚体内, 有大量小黑点分布其中, 这说明土粒的团聚有许多有机质参加。而且每一个团聚体, 都由许多微团聚体聚合而成。团聚体内, 除了有很多细小的孔隙散布其中。团聚体之间还有形态不规则的较大的孔隙。因而团聚体内以及团聚体之间的联结也较疏松。构形一个有机无机结合, 既稳固又疏松的优良结构体系。

* 张与真参加田间调查。



白点为矿物,灰色为粘粒,黑点为有机质,中空为结构间孔隙(正交偏光 $\times 22.5$)

照片 3 蚯蚓团聚体内微结构

三、蚯蚓对土壤结构性质的影响

蚯蚓对土壤结构的影响,除了对结构外部形态及结构体内,营养元素的富集(黄福珍, 1964)和酶的活性等化学及生物化学性质的影响外。主要表现在对结构的多孔性、水稳性以及结构体内有机无机复合体的影响。

1. 蚯蚓对土壤结构水稳性的影响

我们将筛分为不同粒级的重壤质蚯蚓团聚体,各 50 克。分别置滤纸上,经毛管水润湿后,洗入一套 2—0.25 毫米的铜筛中。在水中以每分钟 30 次的速率,上下振筛一分钟,测定团聚体的水稳性。并与非蚯蚓形成的,同一粒级的团聚体作比较。

表 4 测定结果表明:蚯蚓形成的团聚体,具有较高的水稳性。经湿筛后,大于 0.25 毫米的水稳性团聚体比非蚯蚓形成的团聚体提高 36% 至一倍多。

同时表明蚯蚓团聚体,粒径小的,水稳性比粒径大的高。例如 2—1 毫米的团聚体,在水中湿筛后,只有 36% 保持原来粒径; 30% 分散为较小的团聚体。其它变成小于 0.25

表 4 不同粒径蚯蚓团聚体的水稳性

测定前团聚体 粒径(毫米)	试 样	水 稳 性 团 聚 体 (%)				
		2—1	1—0.5	0.5—0.25	<0.25	>0.25
2—1	蚯蚓团聚体	36.2	17.2	13.1	33.5	66.5
	非蚯蚓团聚体	8.8	9.7	17.5	64.0	36.0
1—0.5	蚯蚓团聚体	—	69.3	10.4	20.2	79.7
	非蚯蚓团聚体	—	14.4	25.0	60.6	39.4
0.5—0.25	蚯蚓团聚体	—	—	78.3	21.7	78.3
	非蚯蚓团聚体	—	—	57.5	42.5	57.5

毫米的细粒。而 1—0.5 毫米的团聚体, 经湿筛后有 69% 保持原结构粒径。0.5—0.25 毫米的团聚体, 则有更高的水稳性, 湿筛后有 78% 保持原结构形态。

再以同一粒级蚯蚓和非蚯蚓团聚体的水稳性看。2—1 毫米团聚体中, 蚯蚓团聚体的水稳性为 36%, 非蚯蚓团聚体只有 8.8%。1—0.5 毫米蚯蚓团聚体, 水稳性达 69.3%, 对照只有 14.4%。前者只有 20% 分散为细粒, 后者有 60% 分散为单粒。0.5—0.25 毫米, 蚯蚓和非蚯蚓的团聚体, 水稳性均较高。但蚯蚓团聚体的水稳性仍比对照提高 36.1%。充分说明蚯蚓对提高土壤结构的水稳性有着明显的作用。

2. 蚯蚓对团聚体内有机无机复合体的影响

我们采用杜列重液分离法(傅积平等, 1978)。将团聚体内, 游离态的有机物质和结合态的腐殖物质分离开来。然后测定重组的有机碳, 计算蚯蚓团聚体的增值复合度(表 5)。并将蚯蚓团聚体和未经蚯蚓加工的对照土壤, 经分散, 制成悬浮液, 点样, 干燥后。在高真空中铂投影, 进行电子显微镜观察。

从表 5 可以看到林地及农地两类土壤, 蚯蚓团聚体有机质的含量比原来土壤增加 60% 至 1.58 倍。说明蚯蚓在吞食土壤的过程中, 摄取大量植物残体及腐解或半腐解的有机物质。通过重液分离, 测定重组的有机碳。发现团聚体内由蚯蚓富集的有机物质, 绝大部分都与土壤矿物相结合。两类土壤, 蚯蚓团聚体的有机无机复合体, 增值复合度均达 85% 以上。

表 5 蚯蚓对团聚体有机无机复合度的影响

试验编号	供试土壤		有机质(%)	有机碳(%)		增值复合度(%)
				土壤	重组	
B-1	林地	对 照	1.34	0.78	0.63	85.47
B-2		蚯蚓团聚体	3.43	1.99	1.70	
Y-1	农地	对 照	0.83	0.48	0.42	86.61
Y-2		蚯蚓团聚体	1.33	0.77	0.67	

注: 1. 增值复合度% = $\frac{\text{蚯蚓重组重} \times \text{蚯蚓重组含 C\%} - \text{对照重组重} \times \text{对照重组含 C\%}}{(\text{蚯蚓含 C\%} - \text{对照含 C\%}) \times \text{原土重}} \times 100$ 。

2. 本表由张与真分析。

电子显微镜的观察, 进一步表明蚯蚓形成的团聚体内, 有机胶体显著增加。在蚯蚓消化系统的分解、转化和混合的过程中, 多醣类的有机胶体、蛋白质及腐殖酸已和粘土矿物紧密结合, 构成高度融合的有机无机复合体。

从电子显微照片(图版 II, 照片 4-1, 放大二万倍)可以看到, 蚯蚓形成的团聚体中, 粘土矿物表面和粘土矿物之间, 充满大量有机胶体。这些胶体呈小球状和链状, 交错联结于粘土矿物之间。而未经蚯蚓加工的土壤(图版 II, 照片 4-2), 粘土矿物表面只有局部吸附有机胶体, 粘土矿物之间则缺乏有机胶体而呈空白状态。

电镜照片 4-3(图版 II), 可清楚看到蚯蚓团聚体内粘土矿物和有机胶体已互相密切结合。次生粘土矿物已被大量多醣类和腐殖酸类胶体包围起来, 并互相联结, 形成紧密结

合的有机无机复合体。而未经蚯蚓加工的对照,照片 4-4 (图版 II,放大三万倍)粘土矿物表面呈现光洁状态,只有局部吸附一些球状胶体,有机无机复合度很差。

电镜照片 4-5 (图版 II,放大四万倍),蚯蚓形成的团聚体,粘土矿物表面除了球状胶体包被外,可明显看到链状有机胶体在粘土矿物之间,互相联结并构成网状,把粘土矿物紧密联结在一起。而未经蚯蚓改造的土壤(图版 II,照片 4-6),粘土矿物表面只见小棒状结晶及少量云雾状胶体,矿物间缺乏链状有机胶体联结。

电子显微镜观察表明蚯蚓对土壤团聚体内有机无机复合体的形成和发育,具有十分显著的作用。而且土壤粘土矿物和有机物质,通过蚯蚓体内一系列的消化、分解、聚合和混合作用,所产生的有机无机复合体,远比人工施肥、耕耙的影响更加深刻而彻底。因此蚯蚓形成的团聚体,不但具有较高的水稳性,而且具有优良的供肥、保肥能力(黄福珍,1964)。同时由于有机无机复合体的高度融合,因此在耕作、灌溉或降雨的影响下,即使蚯蚓团聚体遭到一些破坏,但是经过蚯蚓加工改造过的土壤,它的性质已不同于原来的土壤。

四、结 语

通过上述研究表明,蚯蚓是一个可供利用的土壤生物,它像“微型的改土车间”,对土壤结构形成的作用是十分惊人的。可以认为,旱地土壤中,有规则的卵圆、椭圆和长圆形团聚体,绝大部分是蚯蚓生命活动的产物。电子显微镜的观察,进一步表明,蚯蚓对土壤有机无机复合体的形成有较显著的作用。因此蚯蚓形成的团聚体,不但具有较高的水稳性,而且具有优良的供肥、保肥能力。

今后随着农业机械化的高速发展,能源消耗将会成为突出问题。如何实现农业高产稳产又能达到“省工节能(能源)”的要求,将是必须解决的问题。目前国外广泛推广“免耕法”,以求达到“省工节能”的目的。

我们设想,在一定条件下,可否利用土壤生物的自然能量。采用“蚯蚓法”。即利用人工大量繁殖蚯蚓,根据土壤的生态环境和负载能力,农地在秸秆还田、保证灌溉,林地或多年生经济植物,在保持大量残落物的情况下,最大限度的增加蚯蚓群体的数量,利用蚯蚓的生命活动,为植物创造疏松多孔、通气透水、肥沃的优良土壤环境。这样既可免耕或少耕,又可改造土壤提高肥力,达到“省工、节能和增产”的目的。这种设想是否可行,有待继续进行大量的试验研究。如适于不同地区的优良蚯蚓品种的选育,蚯蚓的人工繁殖,土壤生态环境和负载能力,蚯蚓和土壤中物质的转化和能量的平衡等等。同时希望农、林、土壤和生物工作者,共同努力促其实现。

参 考 文 献

- 黄福珍, 1964: 论蚯蚓在土壤肥力中的作用。土壤通报, 第4期, 40—42页。
- 傅积平, 1978: 绿肥对于淤土及其复合胶体性质的影响。土壤学报, 第15卷1期, 83—92页。
- 熊毅、姚贤良, 1965: 土壤结构的性态研究。土壤学报, 第13卷4期, 411—416页。
- Bockel, P., 1963: Soil structure and plant growth. *Netherlands J. Agric. Sci.*, 2(2): 120—127.
- De Leenher et al., 1958: The Influence of Poor Soil Structure on Growth and Final Yield of Wheat. *Proc. Intern Symp. on Soil Structure*. 36—43, Belzië GENT.

THE INFLUENCE OF EARTHWORM ON THE FORMATION OF SOIL STRUCTURE

Huang Fu-zhen

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

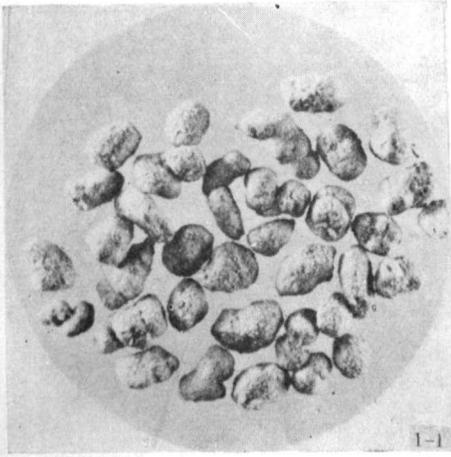
Summary

This article deals with the favorable influence of earthworm on soil structure formation.

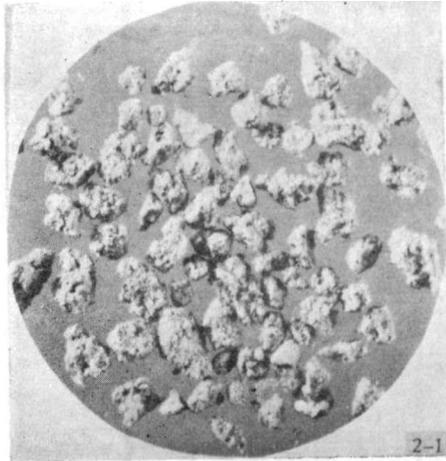
Investigation revealed that most of the smoothly egg-shaped, elliptic or round aggregates in soil were the products of the life activities of earthworm.

Electron microscopic study showed that earthworm played an important part in the formation of organo-mineral complex in soil. Therefore, the aggregates formed by earthworms possessed a higher water-stability and the ability of nutrient supply and retention.

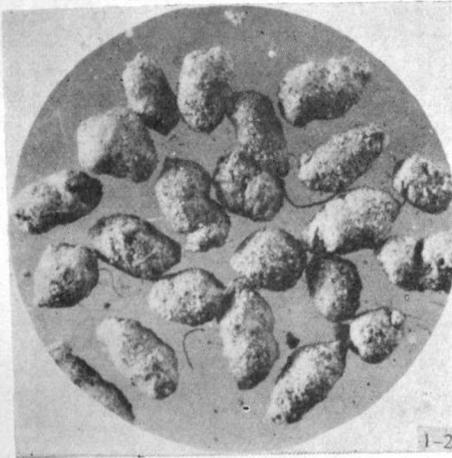
It is assumed that there is possibility of using the earthworm activity as a means for the improvement of soil fertility.



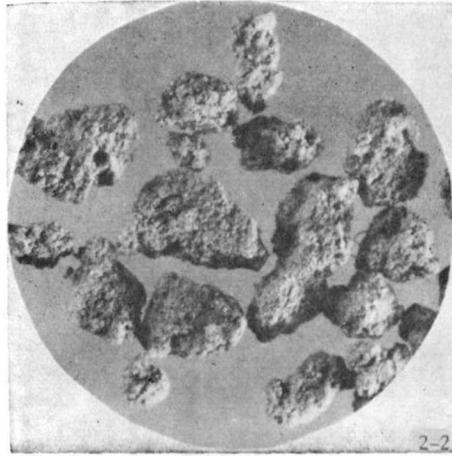
1-1. 蚯蚓形成的 0.15—0.25 毫米微团聚体的形态×40



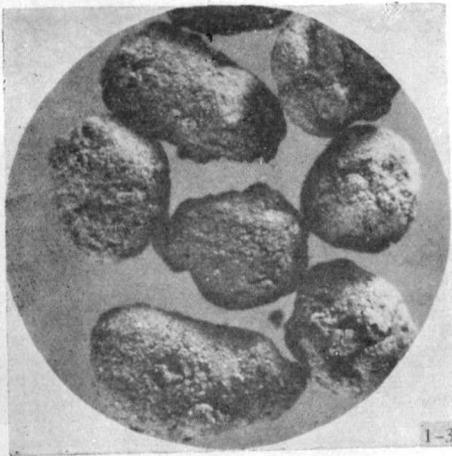
2-1 非蚯蚓形成的 0.15—0.25 毫米微团聚体的形态×40



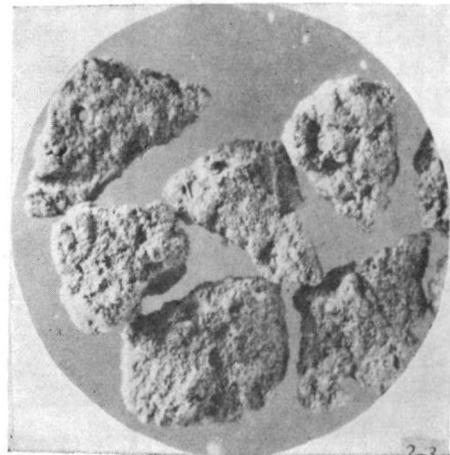
1-2 蚯蚓形成的 0.25—0.5 毫米团聚体的形态×30



2-2. 非蚯蚓形成的 0.25—0.5 毫米团聚体的形态×30



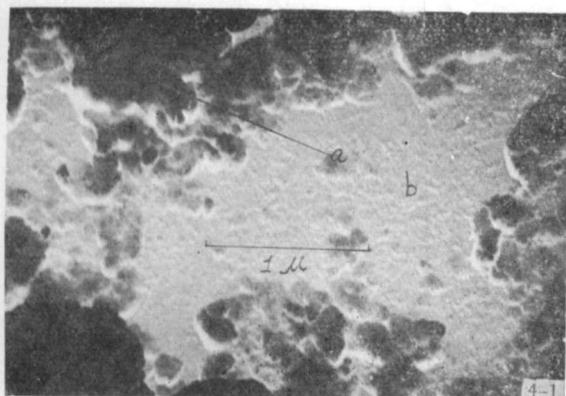
1-3 蚯蚓形成的 1—2 毫米团聚体的形态×20



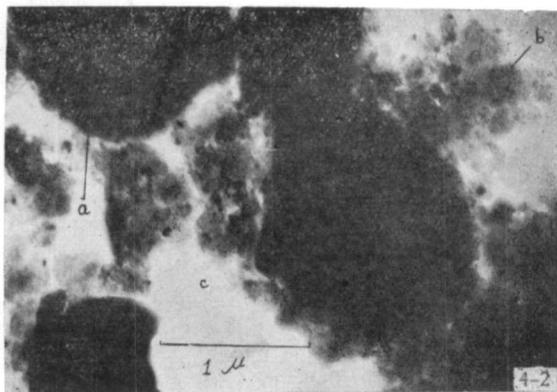
2-3. 非蚯蚓形成的 1—2 毫米团聚体的形态×20

照片 1 蚯蚓形成的各种粒径团聚体外部形态

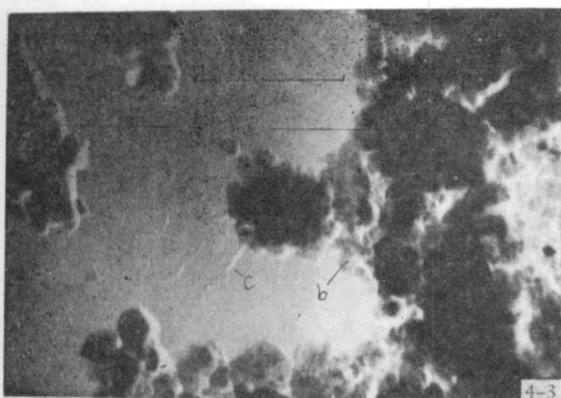
照片 2 非蚯蚓形成的各种粒径团聚体外部形态



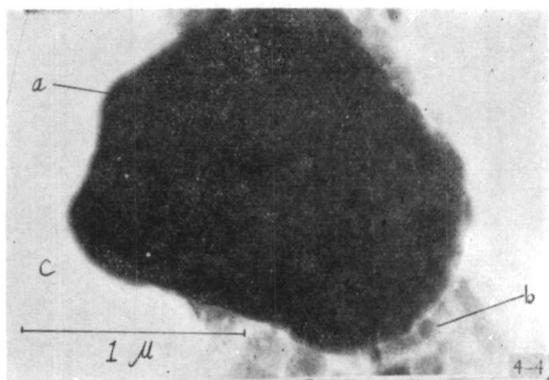
4-1 蚯蚓团聚体中粘土矿物表面及粘土矿物间充满大量有机胶体 a. 伊利石 b. 球状及链状胶体



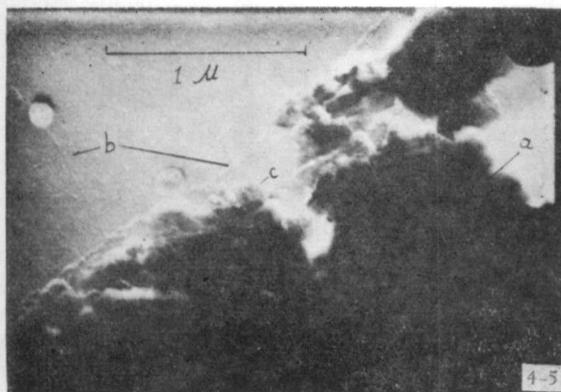
4-2 原土粘土矿物之间缺乏有机胶体 a. 粘土矿物 b. 球状胶体 c. 空白



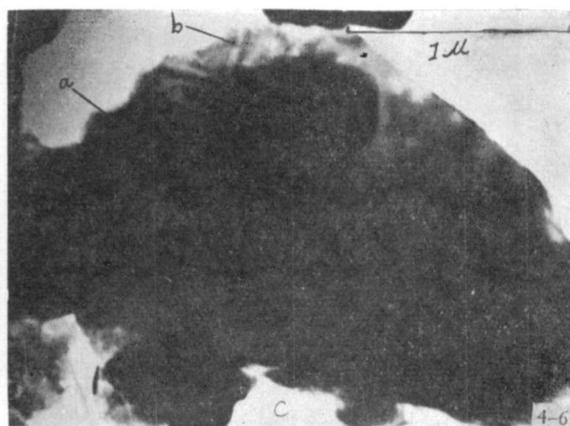
4-3. 蚯蚓团聚体中粘土矿物为大量有机胶体包被并紧密结合 a 粘土矿物 b 球状胶体 c 链状胶体



4-4. 原土粘土矿物表面呈光洁状态复合度差 a 粘土矿物 b 球状胶体



4-5. 蚯蚓团聚体中粘土矿物之间链状有机胶体互相联结 a 粘土矿物 b 链状胶体 c 球状胶体



4-6. 原土粘土矿物表面的小棒状晶体 a 粘土矿物 b 小棒状晶体 c 空白

照片 4 蚯蚓团聚体内有机无机复合体