

海绵田土壤结构特性与土壤肥力 关系的研究*

陈子明

(中国农业科学院土壤肥料研究所)

为了综合研究高产稳产田的肥力性状,自1971年以来,我们在山西省大寨大队及其邻近地区于玉米、小麦主要生育期内,测定了海绵田、非海绵田以及加快熟化新修地的土壤有机质、全量氮、磷、钾;并对微生物的季节性变化作了三年的测定;分别测定了雨季和旱季土壤水分和温度的变化;同时还利用薄片研究了土壤结构与土壤肥力的关系。

一、综合的农业措施对海绵田土壤结构形成的影响

我们着重研究了耕作措施、调剂土质和施用有机肥料对形成结构的影响。

(一) 利用耕耙措施创造临时性团聚体

从表 1 可看出,采用耕耙和种植措施使新修地临时性团聚体增加,值得注意的是,0.25—3 毫米的临时性团聚体占 40% 左右,大于 3 毫米的团聚体占 50% 左右,当 10 毫米以上的团聚体占 20% 以下的情况下,土壤结构性状就比较接近于熟化土壤的结构性状。同时,新修地种植作物之后,由于耕作栽培的影响,土壤结构将进一步改善。耕耙使施下的有机肥料同生土充分混合,为土肥相融和加快熟化创造了条件,虽然并未形成稳定的团粒结构,但已初步具有蓄水、保墒、蓄肥、保肥的作用,有利于作物的生长。因此,在有机质含量低,土质紧实,3 毫米以上稜角土块较多的新修地进行深耕耙有良好的效果^[6],特别是在增施有机肥料的情况下,耕耙措施对改善生土的结构更为有效^[3](见图版 1 照片 1-a 和 1-b)。

(二) 调剂土质改善土壤的基础物质

土壤质地过粗过细对耕作、蓄水、保墒和通气情况都不利。例如在改土造田的过程中被翻到地表的红粘土,质地比较粘重,采用增施有机肥料,炉灰面和褐煤(燃烧值较低的一种煤)来调剂土质(图版 I 照片 2)。后底沟当年新修的梯田,小于 0.01 毫米的物理性粘粒占 48%,施入炉灰面、褐煤、有机肥料,种植一年之后,耕层的 0—25 厘米土层的物理性粘粒变为 38—40%。经过测定,产量较高的田块,质地大部分都在轻壤到中壤的范围。

* 本文承蒙李庆远教授和张乃凤教授审阅修改,并蒙李笃仁教授和曹升腾同志提出宝贵意见,特此致谢。

改变质地是结构形成和产量提高的重要条件。

表 1 耕耙对土壤团聚体的影响

Table 1 Effect of ploughing and harrowing on soil aggregates

土壤名称 Soil type	耕种年限 Years of cultivation	耕耙情况 Regime of ploughing and harrowing	土壤中各级团聚体的含量(%) (粒径: mm) Amount of various size of aggregates in soil							
			>10	5-10	3-5	1-3	0.5-1	0.25-0.5	<0.25	0.25-3
生土(后底沟新建梯田) Raw soil (Newly terraced field of Houdigou gully)		耕耙之前 Before ploughing	30.1	19.0	15.5	14.0	6.5	7.1	7.7	27.6
		耕耙 1 次 1 time	27.8	11.4	12.2	16.9	6.9	9.1	15.7	32.9
		耕耙 4 次 4 times	22.2	16.6	10.9	14.8	7.2	14.2	18.1	36.2
	耕种 1 年 1 year 耕种 2 年 2 years		17.7	17.0	11.3	19.1	10.7	8.8	16.0	38.6
			15.0	17.9	14.1	21.6	12.3	9.3	9.7	43.2
	海绵田土壤 Spongy soils	耕种 10 年以上 More than ten years		6.7	16.4	14.2	14.2	14.0	16.7	18.1

(三) 增施有机肥料改善团粒结构的品质

土壤结构不仅要注意数量,同时还要考虑它的质量。耕耙措施只是把大土块破碎为小土块,只有在施用有机肥料的基础上,在物理化学、生物化学的作用下,临时性的团聚体才能逐步形成有机无机复合体,形成团粒结构。此外,为了增加有机物,这一地区还把玉米根茬铲碎肥田。图版 I 照片 1-a 是改良前的土壤结构状况,土壤结构主要是由无机胶结物把土粒胶结并在外界的挤压下形成均匀分布紧实的土体。图版 I 照片 1-b 是经过耕耙后,大的紧实土块已经破碎为许多小土块,但是棱角清晰。图版 I 照片 1-c 和 1-d 是经过三年和六年连续施用有机肥料和精耕细作之后,土壤结构无论是在形状或是胶结物质方面都有了明显的变化。图版 II 照片 3 是经过长期培肥的海绵田的土壤结构,结构的质地、有机质的含量、胶体的组成和品质、结构的形状等都发生了质的变化,除原来的碳酸钙、铁铝胶结物之外,还有大量的胡敏酸(见表 3),富里酸等有机物,多角形的土块变成了圆形、椭圆形各种粒级的团粒结构。由于农业综合措施的作用,改善了土壤结构的性状,同时也改善了土壤的肥力条件。

二、海绵田的肥力特征

(一) 海绵田的土体构造

海绵田良好的土壤结构对土壤肥力性状产生了重大影响。人们把深厚肥沃的耕层称为活土层,既抗旱又抗涝,既耐饥又耐饱。从图版 II 照片 3 和照片 4 中,我们可以看到结构性状对土体构造的影响。图版 II 照片 3-a 是海绵田土壤 0—20 厘米土层的结构性状,有机

质含量在 1.5% 以上, > 0.25 毫米的水稳性团粒占 36.0% 左右, 其中 1—3 毫米水稳性团粒占主要比例, 同时含有大量的微团聚体。在镜下可以观察到腐解和半腐解的有机物与土壤颗粒胶结在一起, 并形成大的团聚体, 在各级团聚体之间便是各种形状大小不同的孔隙, 如图版 III 照片 6 所示。因此, 这一层次的土壤实际上是由各级团聚体和各种形状不同、大小不一的孔隙组成。图版 II 照片 3-b 是海绵田 20—35 厘米土层的结构状况, 其性状同 0—20 厘米土层的相似, 它有较好的团粒性状, 有机质含量在 1.5% 以下, 但水稳性团粒比较少, 容重比上层大, 大孔隙较少, 但仍然疏松多孔, 它同上层构成一尺以上的活土层, 这一层次的水分、养分、空气和生物等都非常活跃。图版 II 照片 3-c 是活土层以下的结构性状, 有机质在 0.6% 以下, 没有明显的团粒, 土粒均匀分布, 土体紧实。海绵田的土体基本由这三个结构不同的层次构成, 结构好坏直接影响作物赖以生长的整个土体构造的性状。

图版 II 照片 4 为非海绵田土壤结构的情况, 虽然是耕作多年, 但培肥差, 结构不好。图版 II 照片 4-a 为 0—15 厘米土层的结构性状, 有机质含量在 1% 以下, 有一定的团粒, 但水稳性较差。图版 II 照片 4-b 为 20—35 厘米土层的结构性状, 有机质显著减少, 没有

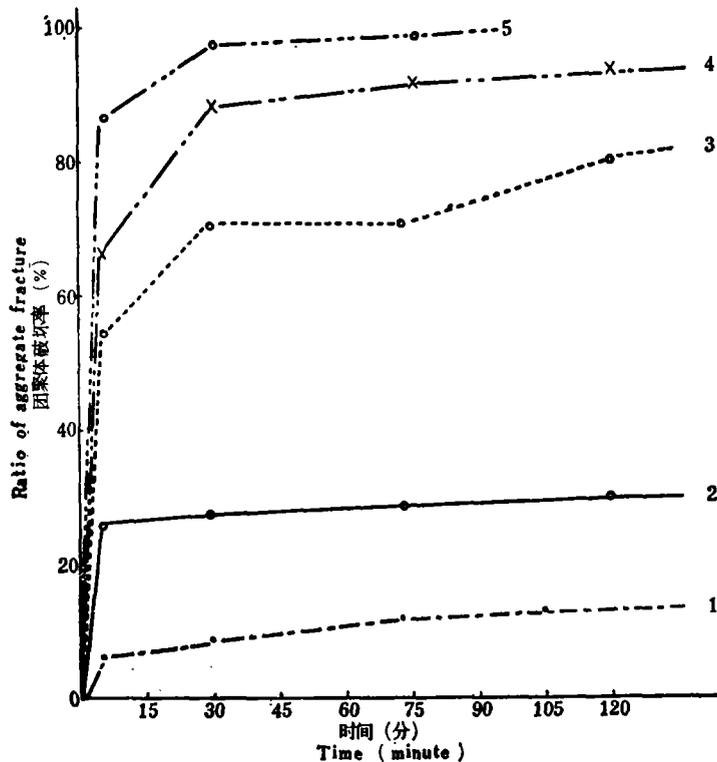


图 1 土壤团粒水稳性比较

(用 50 粒 2—3mm 团粒, 多次重复, 在静水中浸泡, 每隔 5 分钟测定一次, 观察其破碎的百分数)

Fig. 1 Comparison of waterstable of various granules of soils

- | | |
|---------------------|---|
| 1. 高度熟化土壤 0—20 厘米土层 | The 0—20cm layer of highly fertile soil |
| 2. 海绵田 0—20 厘米土层 | The 0—20cm layer of spongy soil |
| 3. 海绵田 20—35 厘米土层 | The 20—35cm layer of spongy soil |
| 4. 非海绵田 0—20 厘米土层 | The 0—20cm layer of non-spongy soil |
| 5. 非海绵田 20—35 厘米土层 | The 20—35cm layer of non-spongy soil |

明显的团粒结构,紧实密致,大孔隙少。图版II照片4-c是35厘米土层以下的结构性状,它的有机质含量、结构和孔隙的情况基本上与黄土母质相同。

再从团粒的水稳性来看,海绵田土壤和非海绵田土壤各层次的水稳性状也不相同。从图1可以看到海绵田土壤0—20厘米土层中,2—3毫米粒径的团粒在静水中测定,5分钟内的破坏率为26.6%,30分钟内的破坏率为28.0%,75分钟内的破坏率为29.4%,900分钟内的破坏率为44.6%(观察时间较长在图中省略),而非海绵田土壤0—20厘米土层的团粒的破坏率,5分钟的为66%,30分钟内为89.2%,75分钟内为92.6%。在综合措施的作用下,高度熟化土壤,其团粒的破坏率,在900分钟之内只有28.0%。

海绵田良好的土体构造是在良好的团粒结构的基础上形成的,35厘米以上的土层由于结构良好,疏松多孔,其中的养分、水分、空气、热状况较为协调。而35厘米以下的土层较为紧实,有利于蓄水、保肥、供水、供肥,使上下各层成为一个有机的整体,既互相协调又互相制约,为作物生长提供良好的环境条件。

(二) 海绵田的三相比例

土壤三相比例是指土壤中的固相、液相和气相三者的互相关系,三相不协调就会影响作物对水分、养分、空气的要求。在一般情况下,固相本身的比重变化不大,但土壤容重则受各种因素的影响而变大或变小。例如,大寨的土地在秋耕之前,容重一般都在1.20克/厘米³以上,而秋耕之后就变为1.00克/厘米³左右,六月份深刨之前为1.20克/厘米³左右,深刨之后为0.90克/厘米³左右,生土地的容重一般为1.40克/厘米³左右,通过耕翻就变成1.20克/厘米³。因此,人为的耕耙对协调三相比例起重要作用,特别是在有机质含量少的情况下,耕耙措施就成为调节土壤三相的重要手段。但这种土壤中由于缺少稳定的团粒,耕松的土壤易受雨水和人为等因素的影响而很快变得紧实,这就不得不年年耕耙,甚至一年中要多次耕锄。然而,通过培肥措施,增加土壤中稳定性团粒之后,情况就不同了。从表2可以看出,培肥多年的海绵田土壤(见图版II照片3),表层的孔隙量总是保持在55—60%之间,其中非毛管孔隙占20%左右,20—35厘米土层内也有较好的三相比例。孔隙除了大小不同,比例不同之外,其形状也各自相异,1978年唐克丽同志已作了阐述^[2]。在1973年新修建的梯田上,修建时的土壤总孔量为46.57%,非毛管孔只有6.86%,容重为1.44克/厘米³,土体紧实,其结构参看图版I照片1-a,孔隙均匀分布。随着人为的培肥过程,结构改善,经1979年9月测定,表层的总孔量为60.90%,非毛管孔为21.90%,20—35厘米土层的三相关系也大有改善。在1972年修建的后底沟梯田上,连年采用综合措施,创造各级团粒,使表层具有协调的三相关系。表层的总孔量为63.90%,非毛管孔为27.20%,20—35厘米土层的总孔量为59.90%,非毛管孔为21.41%,大大改善了原来红土层粘结不透水的物理性状(孔隙性状参看图版III照片5),改善上下层的水、气、热状况。

(三) 海绵田的蓄水保墒性能

由于海绵田是在修筑水平梯田的基础上建立起来的,所以比坡梁地多蓄水。据1974年7月15日和8月20日的雨后测定,一米土层的蓄水量,海绵田比坡梁地分别增加

表 2 培肥土壤的年限对土壤三相比的影响

Table 2 Effect of years of cultivation on the proportion of three phases of soils

土地类型 Land type	培肥时间(年) Time of cultivation	层次 (cm) Layer	固相 (占体积%) Solid phase	总孔隙量 (%) Total porosity	液相 (占体积%) Liquid phase	气相 (占体积%) Air phase	容重 (克/厘米 ³) Volume weight	持水量(%) Water- holding capacity
培肥多年的海 绵田 Spongy soil	10 年以上 More than ten years	0—20	44.00	56.00	39.30	16.70		
		20—35	48.90	51.10	41.80	9.30		
	10 年以上 More than ten years	0—20	39.25	60.75	37.96	22.79	1.11	36.5
		20—35	44.89	55.11	42.87	12.23	1.21	35.7
1972 年建 造的梯 田 Terracing in 1972	培肥二年 2 years	0—20	51.20	48.80	38.80	10.00	1.21	
		20—35	56.80	43.20	37.60	5.60	1.38	
	培肥五年 5 years	0—20	41.51	58.49	34.90	23.59	1.12	
		20—35	47.55	52.45	34.46	17.99	1.29	
	培肥八年 8 years	0—20	36.10	63.90	36.70	27.20	0.92	34.7
		20—35	40.09	59.91	38.50	21.41	1.07	
1973 年底建 造的梯 田 Terracing in 1973	生 土 Raw soil	0—20	53.42	46.57	39.71	6.86	1.44	27.5
	培肥三年 3 years	0—20	49.62	50.38	37.38	13.00	1.29	28.9
		20—35	51.12	49.88	40.73	9.15	1.35	
	培肥六年 6 years	0—20	39.10	60.90	39.00	21.90	1.06	39.3
		20—35	44.70	55.30	41.90	13.40	1.15	

38.3% 和 89.3%。另外,在 1973 年的 6 月 3 日、6 月 20 日、7 月 20 日、8 月 20 日、9 月 20 日和 10 月 20 日对海绵田和一般田进行了水分测定,海绵田一米土层深度的蓄水量分别相应比一般田增加 4.63%, 19.30%, 7.75%, 6.73%, 11.29% 和 5.31%。可见梯田具有良好的渗水、蓄水效果。然而,蓄住的水分如何有效保存在土中为作物利用,这和土壤的结构性状又有着密切的关系。在一定的温度条件下,我们对海绵田土壤和非海绵田土壤进行了吸水保墒的试验。

随着时间的增长,土壤水分不断减少,而非海绵田土壤失水总是比海绵田的快,更值得注意的是,当水分降到田间持水量的 50—80% 时,非海绵田土壤的失水速度急剧下降,而海绵田土壤则是比较缓慢,这对作物生长具有重要意义^[1]。另外,在 20—35 厘米土层内,海绵田土壤的保水能力有明显提高。据中国科学院南京土壤所在 1973 年测定的资料表明,在不同负压的条件下,海绵田土壤含水量总是要比非海绵田土壤的多 5% 左右。我们在田间的实地测定,海绵田土壤含水量总是比其他田块的要高出 3—5%, 在吸水过程

中,最先到达饱和的总是土壤结构良好的土壤。

蓄住天上水才有地下水,但要保住蓄水和有效的供给作物用水,良好的土壤结构以及在这基础上形成的良好土体构造则是关键的条件。

(四) 海绵田土壤保肥供肥性能

具有良好土壤结构性状的海绵田养分贮量多,其保肥、供肥性能也较好,从表3可看出,海绵田土壤在0—20厘米土层内的有机质,养分和胡敏酸的含量都比较高。20—35厘米土层内也含有较高的养分。非海绵田的土壤,在0—20厘米土层内,有机质和养分的含量都比较低,20厘米以下土层的养分和有机质含量都接近于母质的情况。由于养分含量和分布的范围不同,所以作物生长各时期养分的转化和供应也各不相同。由于这一地区

表3 海绵田土壤有机质和养分含量的关系

Table 3 Relationship between the organic matter of spongy soil and plant nutrients

土壤种类 Soil type	层次 (cm) Layer	有机质(%) Organic matter	全氮(%) Total N	水解氮(ppm) Hydrolyzable-N	有效磷(ppm) Available Phosphorus	胡敏酸(%) Humic acid
海绵田土壤 Spongy soil	0—20	1.71	0.071	59.8	16.2	0.203
	20—35	1.82	0.070	24.7	8.4	0.205
	35—50	0.44	0.016	11.5	1.2	0.038
非海绵田土壤 Non-spongy soil	0—20	0.84	0.027	19.3	10.8	0.089
	20—35	0.42	0.026	11.5	5.6	0.046
	35—50	0.36	0.016	11.5	7.2	0.027

的有机肥料是条施,化学肥料是靠近作物穴施,所以为了解基础养分含量和当年养分变化情况,分别在株间和行间取样。从表4中可以看出,6月初玉米苗期,海绵田土壤的速效养分,特别是水解氮的含量要比非海绵田土壤高出一倍以上。在8月2日测定的结果,株间的氮、磷含量反而比非海绵田的低,这是因为在追肥的时候,非海绵田多施了一倍以上的氮肥。但随着速效养分被植物利用,在9月24日测定时,非海绵田的养分,特别是水解氮的含量又显著减少,而海绵田的养分在各个时期都比较平稳且维持较高的水平,不断供给作物的需要。

结构好的土壤在保肥供肥性能上也优于结构差的土壤。由表5所见,结构好的海绵田土壤对铵和磷的吸收以及对铵和磷的释放都有较好的效果。田间试验和生产实践表明,新修地和非海绵田土壤要达到同海绵田相近的产量,仅仅是施用化肥一项的成本就要增加一倍以上。因此,增施有机肥料,改善土壤结构,提高土壤基础肥力,增强保肥供肥能力,这是农作物高产稳产低成本的重要措施。

(五) 海绵田土壤的生物活动

土壤生物活动的强弱是衡量土壤肥力高低的一项活的指标。从表6可以看出,海绵

表 4 海绵田土壤的养分变化

Table 4 The variation of plant nutrients in spongy soils

土壤种类及 层次 Soil type and layer	养分 (ppm) Nutrient	玉米各时期土壤养分的变化 (20 厘米土层) Variation of soil nutrients in various stages of corn (depth of 20cm)				
		1975年 6 月 2 日	1975年 8 月 2 日	1975年 9 月 24 日	1975年 8 月 2 日	1975年 9 月 24 日
		玉米行间 Between rows	玉米行间 Between rows	玉米行间 Between rows	玉米株间 Within rows	玉米株间 Within rows
海绵田土壤 (20厘米土层) Spongy soil (20cm depth)	水解氮 Hydrolyzable-N	67.9	33.4	33.4	42.8	40.8
	有效磷 Available phosphorus	8.2	7.6	6.4	13.6	14.8
	有效钾 Available potassium	195.0	312.5	171.9	237.5	171.9
非海绵田土壤 (20厘米土层) Non-spongy soil (20cm depth)	水解氮 Hydrolyzable-N	33.3	22.7	11.1	77.5	12.4
	有效磷 Available phosphorus	14.4	9.6	6.2	19.6	17.6
	有效钾 Available potassium	152.0	137.5	100.0	187.5	143.8

表 5 海绵田土壤对磷和铵的吸收效果¹⁾

Table 5 Effect of spongy soil on the absorption of ammonium and phosphorus

土壤种类 Soil type	吸铵量 (mg/100g) Absorption of ammonium	释铵量 (mg/100g) Release of ammonium	吸磷量 (mg/100g) Absorption of phosphorus	释磷量 (mg/100g) Release of phosphorus
海绵田土壤 Spongy soil	50.7	17.3	121.3	58.9
非海绵田土壤 Non-spongy soil	52.4	13.3	93.0	47.0

1) 中国科学院南京土壤所1974年资料。

田土壤,无论是在水热条件较好的作物生长盛期,还是秋收季节,各种土壤微生物的数量都是最高的。而非海绵田土壤,只在 0—20 厘米土层有较多数量。培肥三年后的加快熟化的土壤,0—20 厘米和 20—35 厘米土层的各种微生物数量比海绵田的少,但比非海绵田

的要高得多。特别是 20—35 厘米土层,由于结构改善,三相比例协调(见表 2),各种微生物都显著增加,其中以纤维分解菌最为明显。深层微生物的活动,新陈代谢,分泌有机物以及微生物本身的死亡促使深层土壤结构的进一步形成^[4]。图版 III 照片 5-b 是加快生土熟化 20—35 厘米土层,经过培肥之后已具有良好的结构性状。此外,海绵田存在大量蚯蚓粪,也证实了土壤的肥沃性和结构性。

表 6 海绵田土壤中微生物的分布

Table 6 The distribution of soil bacteria in spongy soils

土壤种类 Soil type	土层 (cm) Layer	细菌(10^6 /克土) Bacteria (10^6 /g soil)		纤维分解菌 (10^3 /克土) Fiber-decomposing bacteria (10^3 /g soil)		硝化细菌 (10^3 /克土) Nitrifying bacteria (10^3 /g soil)		纤维分解强度(%) Fiber-decom- posing capacity	
		7月25日	10月4日	7月25日	10月4日	7月25日	10月4日	7月25日	10月4日
		海绵田土壤 Spongy soil	0—20	67.86	16.24	328.0	0.04	52.5	45.0
	20—35	14.24	10.25	78.0	0.06	5.15	14.0	42.0	75.0
非海绵田土壤 Non-spongy soil	0—20	43.28	10.33	42.0	0.006	5.27	11.0	77.5	70.0
	20—35	4.86	10.70	2.0	0.001	—	14.0	0	0
加快熟化土壤 Promoting fertile soil	0—20	46.89	11.50	20.0	0.026	3.19	4.5	80.0	93.0
	20—35	16.92	12.64	28.0	0.115	1.12	11.0	50.0	89.5
生 土 Raw soil			6.54	2.0	0.002	0.30	0.2	4.0	—

注:这是原中国农林科学院农业所土肥室在 1975 年测定的部分结果。

良好的结构为作物生长提供较为协调的水、肥、气、热条件。因此,作物根系发达。熟化土壤和加快熟化土壤的玉米根系除了在 0—35 厘米土层之外,在 35—60 厘米土层仍有大量的根系分布,熟化土壤的根系每株平均达 91 根(选取有代表性五株平均数),60 厘米土层内的干根重为每株 68.2 克,而且有许多根毛。加快熟化土壤每株根数平均为 86.6 根,干根重为每株 57.3 克。非海绵田土壤每株根系为 54.6 根,根重每株平均为 24.0 克,根系大部分分布在 35 厘米土层内。根系生长和下层土壤的通气性状有着密切关系。结构好的土壤,玉米根系能伸展到深的土层中去,吸收深层的水分和养分。另外,深层根系死亡之后,留许多有机物,有利于深层土壤有机质的积累和改善深层结构,并进一步改善深层的通气性状。

由上述可知,海绵土的良好土壤结构对提高土壤肥力具有重要作用。良好结构有利于改善土体的构造,调节土壤的水肥气热以及土壤的生物性状。

诚然,在肥力低、结构性状不好的情况下,通过耕作措施创造临时的团聚体是可以弥补团粒不好的缺陷,有利于改善和调节物理性状、化学性状,进而发挥土壤潜在肥力的作

用。然而,用地养地相结合,提高土壤肥力,改善结构,土壤各方面的性状都将发生质的变化,为高产优质低成本打下良好基础。

参 考 文 献

- [1] 大寨三结合科研组, 1977: 大寨田的肥力特性及其对增产的作用。中国农业科学, 第4期, 41—47页。
- [2] 唐克丽, 1978: 大寨海绵田微形态特征的研究。土壤学报, 第15卷2期, 165—173页。
- [3] 熊毅、姚贤良、樊润成, 1965: 土壤结构的性态研究。土壤学报, 第13卷4期, 411—417页。
- [4] Bullock, P., 1974: The micromorphology of soil organic matter. A synthesis of recent research. In: Soil Micromorphology, Proc. of the 4th Intern. Work-Meeting on Soil Micromorphology (G. K. Rutherford ed.), The Limestone Press, Ontario, Canada, 49—66.
- [5] Russell, E. W., 1973: Soil structure and soil tilth. Soil Conditions and Plant Growth, 10th Edition, 479—519.
- [6] Unger, P. W., 1979: Effects of deep tillage and profile modification on soil properties, root growth, and crop yields in the United States and Canada. Geoderma, 22: 275—295.

STUDIES ON RELATIONSHIP BETWEEN THE CHARACTERISTICS OF SOIL STRUCTURE AND SOIL FERTILITY OF SPONGY FIELD

Chen Zi-ming

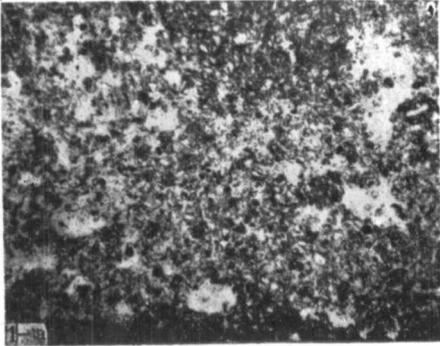
(Institute of Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Science)

Summary

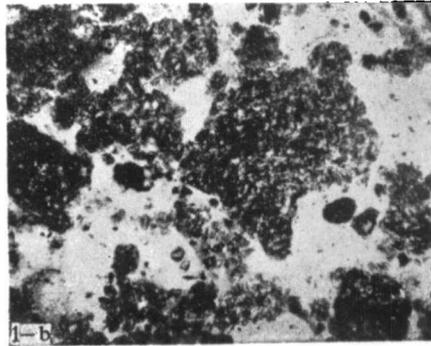
Soil structure is one of the important factors of soil fertility. This paper deals with the effect of the application of organic fertilizer, deep ploughing and the utilization of soil transported from other place on the formations of soil structure.

These measures not only increased waterstable granular aggregates, but also increased the microaggregates and temporary aggregates. The solum structure of soil layer of 0—50 cm was changed due to the variation of soil structure properties, three layers of different structure were formed. Therefore the changes in soil structure induced the change of the regime of water and air in soil, the total pores approximated to 60% of which big pores were about 15%, soil aeration were improved significantly below the soil layer of 20 cm, the soil waterholding capacity was increased in 3—5%. The improvement of soil structure may play an important part in providing a better soil nutrient condition and stimulating the activity of soil microbes of the subsoil.

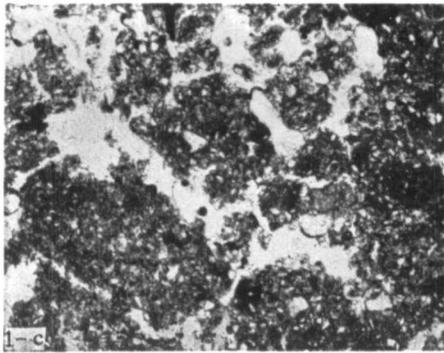
Because of the raising of soil fertility and improvement of environmental condition of plant root system, much more plant roots can grow in the soil layer of 35—60 cm, which will provide a sound basis of high and stable yield farming.



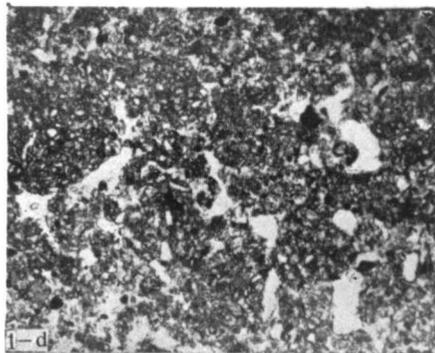
1-a 修建时的黄土母质, 质地密致, 结构紧实(单偏光, ×20)
1-a Loessial parent material with compact structure after terracing (plain light, ×20)



1-b 修建后, 经过多次耕耙和调剂土质, 创造许多临时团聚体, 形状多为稜形和多角形(单偏光, ×20)
1-b Polygonal aggregates formed after ploughing, harrowing and other treatments for several times (plain light, ×20)



1-c 经过三年的培肥, 初步形成一些团粒结构, 疏松多孔(单偏光, ×20)
1-c Friable and porous aggregate structures formed after three years cultivation (plain light, ×20)



1-d 经过六年培肥, 形成各级团粒结构(单偏光, ×20)
1-d Various sizes of aggregate structure formed after 6 years cultivation (plain light, ×20)

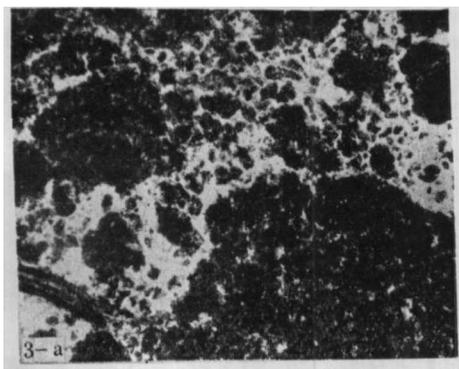
照片 1 新修地培肥过程结构性状的变化

Photo. 1 Variation of soil structure of newly terraced field during cultivation

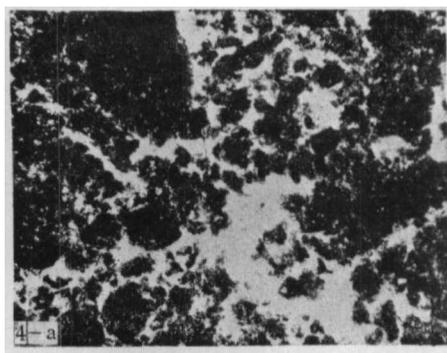


照片 2 施用褐煤、炉灰渣调剂土质, 改良质地。照片中黑颜色的为褐煤, 白色的为炉灰渣
Photo. 2 Application of slag (the light color) and brown coal (the dark color) in order to improve soil texture

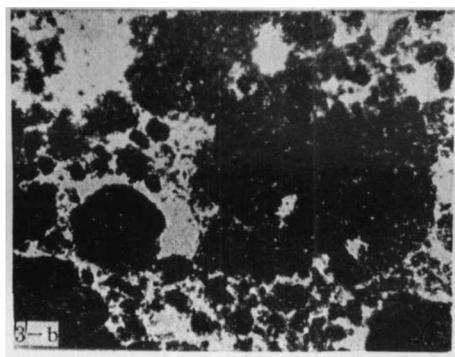
注: 土壤薄片制备和显微摄影得到地质科学研究院地矿所和中国科学院地震所、地质所的大力支持, 谨致谢意。



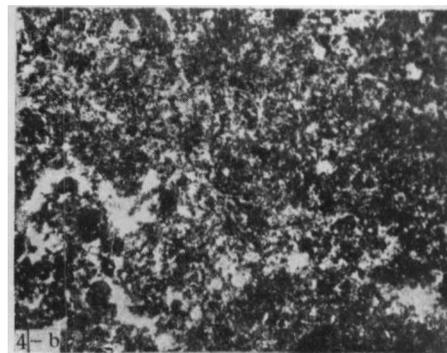
3-a 0—20 厘米土层，具有各级团粒结构，疏松多孔(单偏光，×20)
 3-a The layer of 0--20 cm with various sizes of aggregate, friable and porous (plain light, ×20)



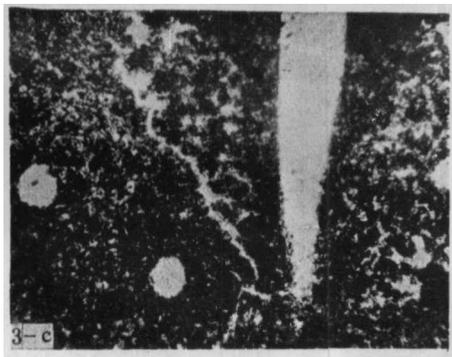
4-a 0—15 厘米土层，具有一定数量的团粒结构(单偏光，×20)
 4-a The layer of 0—15 cm with a few aggregate structure (plain light, ×20)



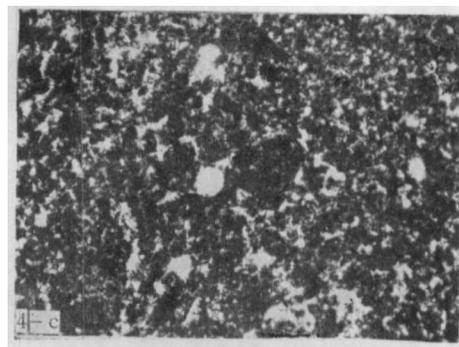
3-b 20—35 厘米土层，团粒性好(单偏光，×20)
 3-b The layer of 20—35cm with good aggregate structure (plain light, ×20)



4-b 20—35 厘米土层，有一定数量的微团结构，但质地密致(单偏光，×20)
 4-b The layer of 20—35cm with a few microaggregates, compact texture (plain light, ×20)



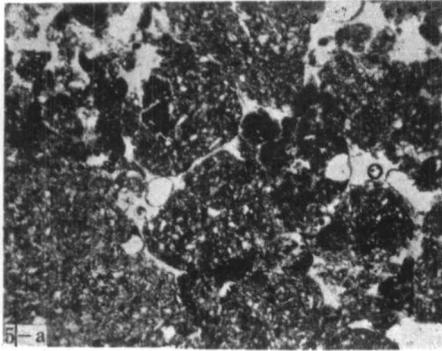
3-c 30—50 厘米土层，在活土层以下较紧实的底土层，残根和虫孔的数量多(单偏光，×20)
 3-c Subsoil layer, 30—50cm, compact with plenty of plant roots and worm holes (plain light, ×20)



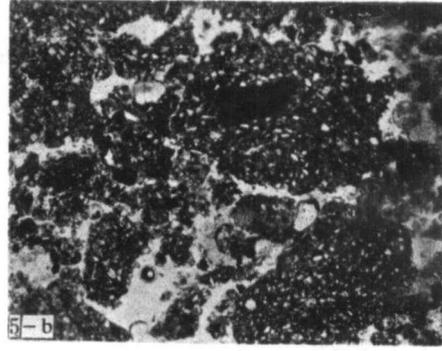
4-c 35—50 厘米土层，结构紧实(单偏光，×20)
 4-c The layer of 35—50 cm with compact texture (plain light, ×20)

照片 3 海绵田土壤结构性状
 Photo. 3 Soil structure of "spongy field"

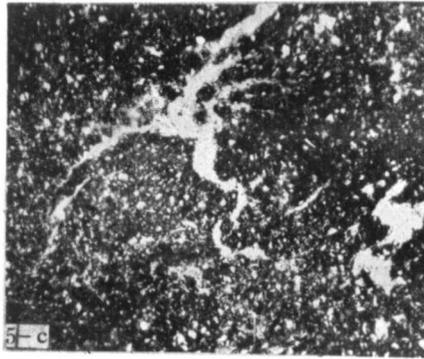
照片 4 非海绵田土壤结构性状
 Photo. 4 Soil structure of "non-spongy soil"



5-a 0—20 厘米土层，这是后底沟新修地经过八年的培肥，具有多级的团粒结构，具有多级的团粒和水稳性团粒(单偏光, ×20)
 5-a The soil layer of 0—20 cm of newly terraced land after eight years cultivation with various sizes, of aggregate and water-stable granules (plain light, ×20)

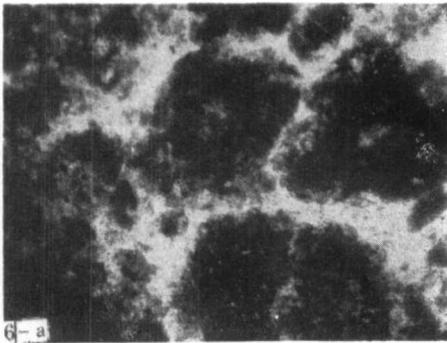


5-b 20—35 厘米土层团粒结构性状良好(单偏光, ×20)
 5-b The soil layer of 20—35 cm with good aggregates, (plain light, ×20)

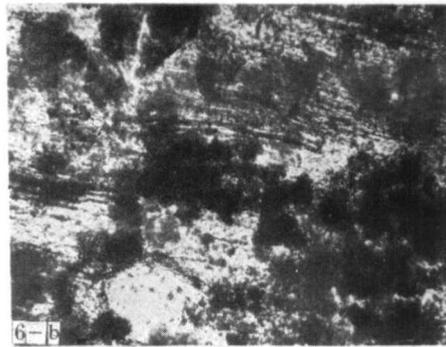


5-c 35—50 厘米土层, 密致(单偏光, ×20)
 5-c The soil layer of 35—50 cm, compact (plain light, ×20)

照片 5 生土加快熟化各层次的结构性状
 Photo. 5 Soil structure of various soil layer of newly terraced land under cultivation



6-a 0—20 厘米土层, 具有各级团粒结构, 疏松多孔(单偏光, ×60)
 6-a The soil layer of 0—20 cm with various sizes of aggregate, friable and porous (plain light, ×60)



6-b 20—35 厘米土层, 有机物和土粒互相胶结渗透形成微团聚体, 并进一步形成各级团粒结构, 网状物为未分解的纤维(单偏光, ×100)
 6-b The soil layer of 20—35 cm with microaggregates resulted from the cementation of organic matter and soil particles. Reticular substances are undecomposed fibers (plain light, ×100)

照片 6 高度熟化的土壤结构性状
 Photo. 6 The characteristics of the highly anthropogenic mature soil