

土壤肥力实质的研究*

I. 黑 土

陈恩凤 周礼恺 邱凤琼 严昶升 高子勤

(中国科学院林业土壤研究所)

我国对于土壤肥力的研究有着悠久的历史,远在公元前约 2200 年写成的“禹贡”,约 1120 年写成的“周礼”和约 767 年写成的“管子”中,都有这方面的记载。值得提明的是我国农民在长期生产斗争中总结出:抗逆性强、宜种、宜肥、宜耕范围广的是肥土,反之是瘦土。他们强调了土壤本身的体质,而不单纯着眼于养分含量。这样的认识为我国土壤工作者采用比较综合的观点研究土壤肥力,奠定了良好的基础。

在西方国家,自 1840 年李比希创立了植物矿质营养学说以来,人们长期侧重研究土壤中植物营养物质的贮量及其供肥能力。直到最近仍有人用“化学潜力”,即指土壤供给植物主要营养物质的潜在能力,来衡量土壤肥力的高低。在苏联提出了团粒学说对土壤肥力的重大作用。所有这类学说和论点(上列仅是主要的),虽对土壤肥力的研究起了积极作用,但用来阐明土壤的实质和评价土壤肥力水平的高低,则嫌不足。

从 1958 年起,结合全国性深耕改土,我们进行了耕翻的适宜深度和适宜时间间隔的研究,继而又研究了耕作土壤的层次发育特征及其熟化实质。

关于适宜耕翻深度的研究,是结合当时深耕没有标准而进行的,我们总结了全国大量的深翻实践和自己的系统测定,提出耕翻不宜超过 50 厘米,要结合当地农家肥料数量和劳动力多少确定适宜深度,做到保证质量,当年增产。还宜 4、5 年深耕一次。

关于土壤经深耕后的层次发育,根据土体内物质运动情况,特别是受地面生物气候影响而有不同,分活动层与稳定层。我们用稳定层的稳产作用,说明深耕的意义,从而阐明了研究土壤肥力必须研究土体或土体构型。

关于土壤熟化实质的含义,根据土壤熟化程度高就肥沃,不然就瘦瘠,也可说是土壤肥力实质。研究这个问题,要先明确什么是影响土壤肥力的基础物质?根据前人的研究结果,腐殖质和矿物粘粒早被认为是土壤肥力的基础物质。它们都是胶体状态,是土壤中最活跃的部分。它们的主要特征是粒体很小,在单位重量内表面积很大。

苏联以黑土著名,土壤腐殖质研究较多,在卅年代,А. Ф. 丘林就研究证明腐殖质与粘土矿物的结合,既有化学过程,也有物理过程;到了五十年代,继续研究的人及其结果就多了。欧美也有相似研究结果,但不及苏联之多。

先是苏联研究腐殖质与粘土矿物的结合形态,腐殖质以不同结合形态胶结在粘粒的表面,分为松结合态,紧结合态,吸着结合态三种;而结成的有机矿物复合体又分水分散微团聚体 G_0 、钠分散微团聚体 G_1 、钠-机械分散微团聚体 G_2 三类,各具不同的功能。欧美则进而研究微团聚体的粒级组成及其功能,一般从 <1 微米到 250 微米的范围内。这是一个发展的过程。

* 参加工作的还有武冠云、丁庆堂、张志明、曹承锦、党连超、崔勇、于德清、李荣华等同志。

总的看来, 有关有机矿物复合体及其结成的微团聚体作为衡量土壤肥力水平指标的研究报告不多。

通过简单地回顾一下国内外有关研究, 使我们明确地认识到, 在研究土壤肥力时, 既要研究体质, 指决定土壤肥力水平的基础物质及其作用功能, 又要研究体型, 对不同土层的空隙组成及其功能以及不同层次间的组合状况。只有这样, 才能探明土壤中水、肥、气、热的整体运动状况, 从而明确土壤肥力的实质。也只有这样的基础上, 才能拟定出有效措施, 用以提高土壤肥力, 满足作物生长的需要, 和在一定程度上抵制不良的生长条件包括各种障碍因子。

我们首先对东北地区的黑土进行了野外观测, 并采集了相当数量不同开垦年限和不同肥力水平的土样。黑土采自黑龙江省九三国营农场。草甸黑土采自黑龙江省友谊农场。

测定方法: 土壤腐殖质组成分用 Кононова 快速法^[1]。各种结合态腐殖质的提取方法是, 称取一定量样品, 先以 0.05 N HCl 和 1N NaCl 交替处理进行脱钙, 钙离子被钠离子置换后, 加入 0.01N NaOH 浸泡过夜, 反复提取至溶液无色, 为松结合态腐殖质。继以 0.01 N HCl 加入残余土中, 浸泡过夜, 洗去活性铁铝二、三氧化物, 再用 0.01 N NaOH 反复提取至溶液呈无色, 为吸着结合态腐殖质。最后残余在残余土中腐殖质为紧结合态腐殖质。脲酶活性用 Hoffmann 与 Teicher 法^[2]。转化酶用 Hoffmann 与 Seegerer 法^[3], 磷酸酶用 Hoffmann 法^[4]。多酚氧化酶用 Галстян 法^[5], 过氧化氢酶用 Кацнельсон 法^[6]。土壤理化性质用常规分析法。

一、黑土中不同结合形态的有机矿物复合体是土壤肥力的物质基础

从表 1 可看出, 在黑土中, 41—83% 的腐殖物质是以不同结合形态胶结于矿质粘粒的表面。其中 56—67% 为松结合态, 26—35% 为紧结合态, 6—17% 为吸着结合态。

表 2 表明在各组有机矿物复合体中, 荒地是 $G_0 < G_2 < G_1$, 随着开垦年限的增长, G_0 和 G_1 有所增加, G_2 有所减少, 次序变为 $G_1 > G_0 > G_2$ 。由于各组复合体数量次序发生变化, 所含营养物质和水也随着变化。

表 3 列明各组复合体中不同结合形态腐殖质的氮、磷含量各不相同, 表 4 说明各组复

表 1 各组复合体中不同结合形态的腐殖质含量

Table 1 Content of humus with various binding status in different groups of complex

开垦年限 Years after reclamation	复合体的组别 Groups of complex	腐殖质的结合状态 Binding status of humus					
		松结合态 Loose		紧结合态 Tight		吸着结合态 Absorbed	
		腐殖质含量(%) Humus	占总量的% % of total	腐殖质含量(%) Humus	占总量的% % of total	腐殖质含量(%) Humus	占总量的% % of total
荒地 Virgin land	G_0	2.91	56	1.36	26	0.90	17
	G_1	3.03	57	1.89	35	0.47	9
	G_2	4.76	59	2.65	33	0.63	8
15年 15 yr.	G_0	2.97	56	1.68	31	0.65	12
	G_1	3.92	67	1.61	27	0.33	6
	G_2	5.47	66	2.16	26	0.62	8

表 2 各组复合体的含量和比值及其变化

Table 2 Content and ratio of different groups of complex and their variations

开垦年限 Years after reclamation	复合体的 % % of complex				
	G ₀	G ₁	G ₂	总量 Total	G ₁ /G ₂
荒地 Virgin land	7.34	20.2	12.0	39.6	1.7
4年 4 yr.	7.89	22.5	11.4	41.8	2.0
15年 15 yr.	8.69	24.7	5.4	38.8	4.6

表 3 各组复合体中不同结合形态腐殖质的氮、磷含量

Table 3 N and P content of humus with various binding status in different groups of complex

开垦年限 Years after reclamation	复合体的 组别 Groups of complex	总量 Total		腐殖质的结合形态 Binding status of humus					
		N(%)	P(%)	松结合态 Loose		紧结合态 Tight		吸着结合态 Absorbed	
				*N	*P	*N	*P	*N	*P
荒地 Virgin land	G ₀	0.50	0.017	63	69	22	8	15	23
	G ₁	0.51	0.056	54	72	37	9	10	18
	G ₂	0.79	0.034	41	81	43	7	15	12
15年 15 yr.	G ₀	0.54	0.023	68	68	14	8	17	24
	G ₁	0.67	0.075	57	83	37	7	11	8
	G ₂	0.80	0.016	39	83	44	7	18	10

* 总量的%。

表 4 各组复合体的阳离子代换量及其对铵和磷酸盐的吸附能力

Table 4 Ammonium and phosphate retention capacities and CEC of various groups of complex

开垦年限 Years after reclamation	复合体的组别 Groups of complex	NH ₄ -吸附, 总量的% Adsorbed NH ₄ , % in total		PO ₄ -吸附 (mg/100g soil) Adsorbed PO ₄	腐殖质(%) Humus	阳离子代换量 (meq/100g soil) CEC	
		解吸性 NH ₄ Desorbed NH ₄	非解吸性 NH ₄ Non-desorbed NH ₄			除去腐殖质 Humus removed	未除去腐殖质 Humus unremoved
		荒地 Virgin land	G ₀			83	17
G ₁	49		51	111	4.77	43.7	54.7
G ₂	42		58	108	7.64	44.3	58.7
15年 15 yr.	G ₀	82	18	101	4.90	23.3	41.8
	G ₁	76	24	110	5.77	42.9	70.3
	G ₂	55	45	110	5.56	47.6	65.4

合体对铵和磷酸盐的吸附能力各不相同; 各组复合体的阳离子代换量也各不相同, 表 5 说明各组复合体的吸水和脱水性能各不相同; 随着各组复合体即 G₀, G₁, G₂ 数量的变化, 这许多肥力因子势必都有变化。所以说, 不同结合形态的有机矿物复合体是土壤肥力的物

表 5 各组复合体的吸水量和脱水性能

Table 5 Water-holding and dehydration capacities of various groups of complex

开垦年限 Years after reclamation	复合体的组别 Groups of complex	吸水量 (mg/min) Water-holding capacity										脱水量 (mg/g) Dehydration capacity	
		时间 (min)											
			1	2	4	6	8	10	15	20	25		30
荒地 Virgin land	G ₀	A*	80	256	566	610	630	638	654	654	—	—	861
		B**	52	188	598	628	662	672	682	682	—	—	954
	G ₁	A	72	224	562	664	684	688	690	690	—	—	834
		B	42	172	464	548	588	636	652	662	662	—	902
	G ₂	A	90	258	592	684	740	750	762	762	—	—	820
		B	76	242	532	628	652	668	682	684	684	—	897
15 年 15 yr.	G ₀	A	50	178	500	718	790	812	830	830	—	—	960
		B	22	126	394	554	596	612	622	632	632	—	933
	G ₁	A	68	214	552	698	722	730	744	744	—	—	926
		B	32	118	348	538	636	668	696	696	—	—	947
	G ₂	A	130	388	686	718	730	738	744	744	—	—	829
		B	54	249	568	696	698	704	715	715	—	—	836

* 除去腐殖质; ** 未除去腐殖质。

质基础。

二、黑土肥地 < 10 微米微团聚体较多, 或低粒级的较多

图 1 表明不同肥力水平黑土的微团聚体组成, 其中肥地 < 10 微米微团聚体数量比瘦地高, 总量超过 50%, 可能由于黑土中有机质分解较慢, 积存比较丰富, 有利于低粒级微团聚体的产生和补充; > 10 微米微团聚体则是瘦地较高。

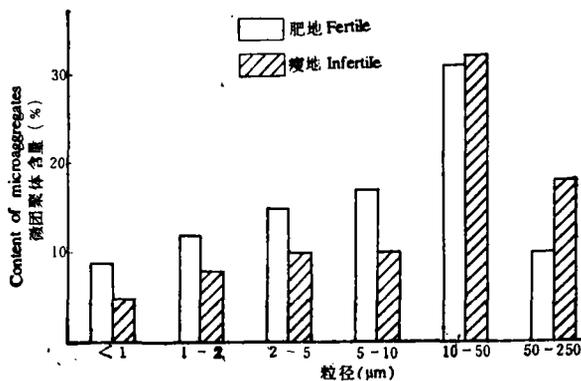


图 1 不同肥力水平草甸黑土的复合体

Fig. 1 Complex in meadow black soils with different levels of fertility

图 2、图 3 表明黑土中 <10 微米微团聚体的碳、氮含量较之 >10 微米的显著的高, 磷也稍高; 而磷的解析量 <10 微米的稍低。肥地碳、氮、磷含量都高于瘦地, 以 >10 微米的较为显著; 而肥、瘦地磷的解析量接近。

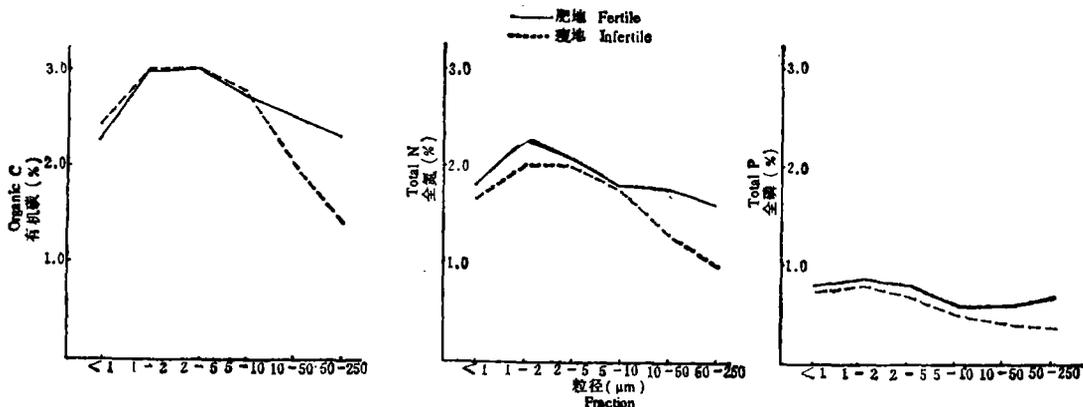


图 2 不同肥力水平草甸黑土复合体中碳、氮、磷含量

Fig. 2 Content of C, N and P in complexes of meadow black soils with different levels of fertility

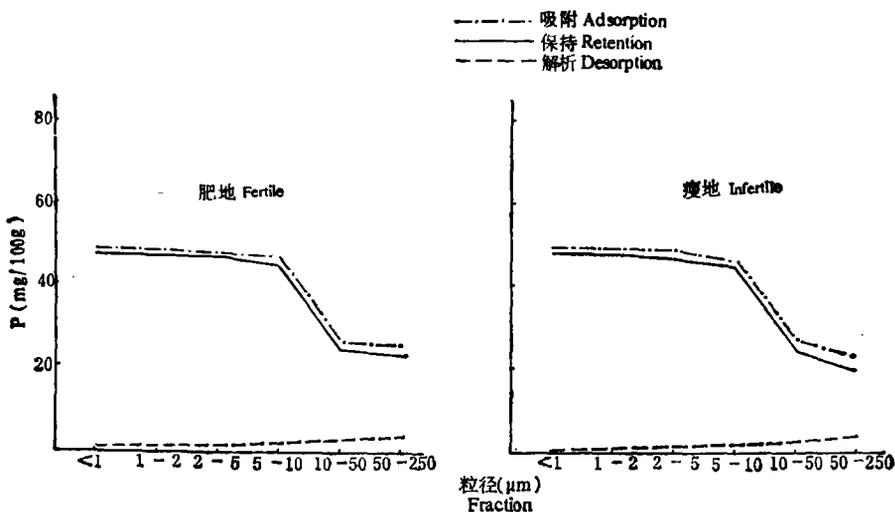


图 3 不同肥力水平草甸黑土复合体对磷的吸附、保持和解析

Fig. 3 Adsorption, retention and desorption of P by complexes of meadow black soils with different levels of fertility

总的说来, 黑土中 <10 微米微团聚体数量较大, 是影响肥力的主要部分, 其解析量虽然稍低, 但黑土总的肥力是高的, 即碳、氮、磷含量较高, 因而影响不大。

三、土壤酶的活性在很大程度上能反映土壤的营养状况和理化性质

以往研究指明, 腐殖物质的腐殖化过程及其组分间相互转化是在土壤酶的作用下进

行的,一般称为酶促作用。

表 6 列明土壤及其组分的酶活性。其中六种酶的活性都是明显地在腐殖质组分中较高,其次是粘粒和粉砂,在砂粒中很少。可见各种酶主要是以酶有机复合体形态存在于土壤内,也说明酶在腐殖质和粘粒部分能够发挥较大作用。

表 7 进一步说明土壤酶与腐殖物质的相互关系,其中脲酶与磷酸酶活性在一定程度上反映腐殖质总量及其各组分包括胡敏素、胡敏酸、富里酸、C/N 比的数量多少;而多酚氧化酶较为专性,仅与 C/N 比和胡敏酸/富里酸比显著相差,可作为腐殖物质腐殖化程度的指标。

表 8 列明土壤酶与土壤理化性质的相互关系,土壤酶在很大程度上反映氮、磷、阳离子代换量、盐基饱和度、粘粒等理化性质和营养状况。

以上事实说明,土壤酶对于土壤物质,特别是腐殖物质的转化强度起着重要作用。

表 6 土壤及其组分的酶活性

Table 6 Enzyme activities of soil and its components

土壤 Soil	分 组 Component	过氧化氢酶 (ml/g) Catalase 0.1N KMnO ₄	多酚氧化酶 (mg/g) Polyphenol- oxidase purpurogallin	脲 酶 (mg/g) Urease NH ₃ -N	转 化 酶 (ml/g) Invertase 0.1N Na ₂ S ₂ O ₃	碱 性 磷 酸 酶 (mg/g) Alkaline phosphatase phenol	中 性 磷 酸 酶 (mg/g) Neutral phosphatase phenol
黑土荒地 Black soil, virgin land	土壤 Soil	4.1	0.70	28.5	7.9	9.2	7.8
	腐殖质 Humus	16.0	1.99	155.0	56.5	20.8	14.7
	粘粒 Clay	9.8	0.35	27.5	17.0	1.5	0.6
	粉砂 Silt	10.3	0.15	20.7	4.4	0.6	0.1
	砂粒 Sand	4.9	0.06	1.4	1.5	0.2	未测出
黑土肥地 Fertile black soil	土壤 Soil	4.2	0.38	56.0	6.7	7.1	3.8
	腐殖质 Humus	19.9	1.42	179.0	63.5	13.0	10.4
	粘粒 Clay	7.9	0.15	40.0	15.5	1.3	0.3
	粉砂 Silt	7.5	0.05	17.5	2.8	0.5	0.1
	砂粒 Sand	5.3	0.03	2.8	1.0	0.2	未测出
黑土瘦地 Infertile black soil	土壤 Soil	3.6	0.94	23.5	5.3	7.7	5.4
	腐殖质 Humus	16.0	2.32	153.0	29.8	16.1	13.1
	粘粒 Clay	7.4	0.32	32.5	13.5	1.4	0.4
	粉砂 Silt	5.8	0.12	9.5	2.8	0.5	0.4
	砂粒 Sand	4.8	0.03	2.0	0.8	0.2	0.2

表 7 土壤酶与腐殖物质的相关系数(r 值)*

Table 7 Correlation between soil enzymes and humic substances

	C/N	H/F	H	F	胡敏素 Humina	腐殖质总量 Total amount of humus	活性胡敏酸 Active humic acid	钙结合的胡敏酸 Humic acid combined with calcium
过氧化氢酶 Catalase	-0.59	-0.52						0.76
多酚氧化酶 Polyphenoloxidase	-0.78	-0.56						
转化酶 Invertase	-0.81	-0.71		-0.72			0.53	0.60
脲酶 Urease					0.66	0.67		0.59
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.81							0.76
中性磷酸酶 Neutral phosphatase			0.52	0.81	0.60	0.67	0.79	

* $r = 0.623$, $\alpha = 0.01$; $r = 0.497$, $\alpha = 0.05$ 。表中 H——胡敏酸; F——富里酸。

表 8 土壤酶与土壤理化性质的相关性(r 值)*

Table 8 Correlation between soil enzyme and soil physical and chemical properties

	全氮 Total N	水解性氮 Pydrolyzable N	全磷 Total P	CEC	盐基饱和度 Degree of base saturation	粘粒 Clay
过氧化氢酶 Catalase	0.71	0.66	0.54	0.69	0.53	
多酚氧化酶 Polyphenoloxidase					0.49	
转化酶 Invertase	0.71			0.83		
脲酶 Urease	0.54		0.51			
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.84	0.57	0.54	0.69		
中性磷酸酶 Neutral phosphatase	0.85	0.54		0.68		-0.56

* $r = 0.623$, $\alpha = 0.01$; $r = 0.497$, $\alpha = 0.05$ 。

四、腐殖质、胡敏素、与钙结合的胡敏酸在整个土体中分布比较均匀, 能够形成较厚的疏松层

一般地说来, 土体构型是由土壤团聚体垒结而成。土壤的空隙组成能够反映团聚体的垒结状况。当土壤颗粒团聚得比较稳定, 而且形成较厚的疏松层时, 土壤的空隙量较大, 空隙种类也较多。这就有利于土壤中水、肥、气、热的保持和协调。

表 9 腐殖物质及其组分在不同肥力水平黑土中的分布

Table 9 Distribution of humic substances and their components in black soils with different levels of fertility

土 壤 Soil	土层深度 (cm) Depth	腐殖质 (C,%) Humus	胡敏素 C Humin C		胡敏酸 C Humic acid C		胡敏酸 Humic acid	
			%	占整个土层胡敏素 C 的 % % of humin C in whole horizons	%	占整个土层胡敏酸 C 的 % % of humic acid C in whole horizons	活性的 (%) Active	与钙结合的 (%) Combined with Ca
荒地 Virgin land	0—30	3.98	2.16	51	1.08	48	43	57
	30—48	2.21	1.11	26	1.02	45	22	78
	48—	1.18	0.99	23	0.15	7	67	33
耕地瘦地 Cultivated soil, infertile	0—25	3.67	2.13	38	0.88	38	36	64
	25—47	2.92	1.98	35	0.72	31	39	61
	47—64	2.35	1.52	27	0.69	30	25	75
耕地肥地 Cultivated soil, fertile	0—23	3.58	2.08	40	0.85	36	34	66
	23—41	3.21	1.82	35	0.88	37	37	63
	41—66	2.31	1.31	25	0.63	27	33	67

表 9 列明腐殖物质及其组分在不同肥力水平黑土中的分布。在肥沃的黑土里，腐殖质、胡敏素及与钙结合的胡敏酸都在整个土体中比较均匀地分布。从而说明腐殖物质及其组分对土体构型的重要作用。

参 考 文 献

- [1] M. M. 科诺诺娃(周礼恺译, 1966)1963: 土壤有机质。221—226页, 科学出版社。
- [2] Hoffmann, G. and Teicher, K., 1961: Ein kolorimetrisches verfahren zur bestimmung der urease-aktivität in böden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 95: 55—63.
- [3] Hoffmann, E. and Seegerer, A., 1951: Über das enzymesystem unserer kulturböden. 1. Saccharase. Biochem. Z., 322: 174—179.
- [4] Hoffmann, G., 1967: Eine photometrische methode zur bestimmung der phosphatase-aktivität in böden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 118: 161—172.
- [5] Галстян, А. Ш., 1974: Ферментативная активность почв Армении. Аиастан, Ереван.
- [6] Качнельсон, Р. С. и Ершов, В. В., 1958: Исследование микрофлоры целинных и окультуренных почв Карельской АССР, 11. Микробиология, 27: 82—88.

STUDY ON THE ESSENCE OF SOIL FERTILITY

I. BLACK SOILS

Chen Enfeng, Zhou Likai, Qiu Fengqiong, Yan Changsheng, Gao Ziqin
(*Institute of Forestry and Pedology, Academia Sinica*)

Summary

After a review of the study on soil fertility at home and abroad and of our recent work, it is clearly recongnized that in studying soil fertility, both the basic materials affecting the fertility and the patterns of pedon structure of soils should be investigated in a comprehensive way.

In black soil, the organo-mineral complexes with different binding status are the basic substances influencing soil fertility. The quantitative variation of various groups of organo-mineral complexes induces a series of changes of nutrients and moisture in soil.

In fertile black soil, the total amount of the microaggregates $<10\mu\text{m}$ is above 50%. They are the main parts influencing fertility.

The humification and transformation of organic matter are regulated by the soil enzymes. Their activity can reflect the nutriest status and physico-chemical properties of soil to a great extent.

In fertile black soil, humus, humin and humic acid combined with calcium are distributed uniformly in the whole soil mass. It helps improve the formation and uniform distribution of stable structure in soil.