

# 不同肥力黑土、棕壤微团聚体组成及其胶结物质的研究

关连珠 张伯泉 颜丽

(沈阳农业大学土化系, 110161)

## 摘 要

本文通过对黑土、棕壤各级微团聚体组成及其胶结物质的研究表明,不同肥力水平的土壤各级微团聚体组成不同,随着肥力水平的提高,大于 $10\mu\text{m}$ 微团聚体含量增加,增加幅度为2—5%;土壤团聚度增大,增大范围为2—8%。相关分析表明,土壤有机质含量,特别是松结合态有机质含量与大于 $10\mu\text{m}$ 的微团聚体含量呈显著正相关,而紧结合态有机质含量及土壤中小于 $2\mu\text{m}$ 的粘粒则与小于 $10\mu\text{m}$ 的微团聚体含量呈正相关。去除各种胶结物质以后各级微团聚体的破坏率也证实了这一点。由此认为,各种胶结物质对不同粒级微团聚体的形成影响各异,小粒级微团聚体的形成主要受紧结合态有机质和粘粒的影响,大粒级微团聚体的形成则主要与松结合态有机质以及多糖类物质有关。

半个多世纪以来,不论国内国外,在土壤有机无机复合体及微团聚体的研究方面,都取得了显著的成绩<sup>[1-3,7-8]</sup>。特别是国内近几年对土壤微团聚体与土壤肥力的研究更为突出<sup>[2-5]</sup>,基本上明确了土壤中各级微团聚体的作用,生物理化特性以及对土壤肥力的影响。然而,对于各级微团聚体对土壤肥力产生巨大影响的原因至今仍不十分清楚,这样就限制了人们在生产中有目的地培肥土壤。本研究就是在前人研究的基础上,探讨土壤各级微团聚体对土壤肥力产生影响的原因。同时,通过对各级微团聚体胶结物质的分析,找出影响土壤各级微团聚体形成的主要因素,为人工培肥土壤,调控土壤肥力提供理论依据。

## 一、材料与方 法

### (一) 供试土样

棕壤取自辽宁沈阳、金县和山东泰安。黑土取自吉林、黑龙江。试验分长年施农肥、农肥配合氮磷钾化肥、长年无肥以及长年单施氮素化肥。并分高肥和低肥两种水平,其基本理化性质见表1。

### (二) 研究方法

1. 土壤微团聚体的提取和测定: 采用超声波分散(槽式,  $21.5\text{KH}_2$ ,  $300\text{mA}$ ) 虹吸提取, 吸管法定量。

2. 胶结成分的分析: 有机质总量采用丘林法, 各结合形态腐殖质的测定采用傅积平等人的改进法<sup>[9]</sup>; 微生物胶采用 Fosyth 和 Rennie 的改进法<sup>[8]</sup>; 多糖采用稀酸浸提蒽酮比色法; 游离氧化铁采用连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠提取; 无定形氧化铁以  $\text{pH} 3.2$  的草酸-草酸铵缓冲液提取, 均由邻菲罗啉比色法测定。

3. 几种胶结物质的脱除: 用  $0.1 \text{ molL}^{-1}$  NaOH 脱松结合态有机物质; 用  $0.1 \text{ molL}^{-1}$  NaOH +  $0.1 \text{ molL}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ , 脱稳结合态有机物质; 用 10%  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 去除全部有机物质。用草酸-草酸铵缓冲液脱无定形氧化铁; 用连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠脱游离氧化铁, 均采用反复淋洗的办法。脱去胶结物质的土样用蒸馏水洗至中性, 同时以蒸馏水处理的样品为对照, 按下式计算结构破坏率。

$$\text{结构破坏率}(\%) = \frac{\text{处理前后微团聚体含量之差}}{\text{处理前微团聚体含量}} \times 100$$

4. 其他项目的测定均采用常规法。

## 二、结果与讨论

### (一) 不同肥力黑土、棕壤的微团聚体组成

由表 1 可以看出, 不同肥力水平黑土与棕壤在各级微团聚体组成上, 差异比较明显。5— $10 \mu\text{m}$  微团聚体数量高肥有低于低肥的趋势; 而 10— $50 \mu\text{m}$  的微团聚体却有高肥大于低肥的趋势, 其他各级规律性不明显。根据已有的报道, 不同粒级的微团聚体在土壤肥力上的作用是不同的。陈恩凤<sup>[2,3]</sup>根据对几种旱田土壤的研究指出, 各级微团聚体碳、氮、磷含量均以小于  $5 \mu\text{m}$  者最高, 随着粒级增大含量降低; 对磷和铵的吸附强弱以 5— $10 \mu\text{m}$  为界, 小于 5— $10 \mu\text{m}$  者吸附能力强, 大于 5— $10 \mu\text{m}$  者则解吸能力较弱。因此, 若以 5— $10 \mu\text{m}$  微团聚体为界把各级微团聚体分为两级, 则可看出, 无论黑土还是棕壤, 大于  $10 \mu\text{m}$  微团聚体数量皆以高肥大于低肥; 小于  $10 \mu\text{m}$  微团聚体变化规律不明显, 但略有相反的趋势。而土壤的团聚度在供试两类土壤中皆表现出高肥地大于低肥地。说明较高肥力的土壤有较多小于  $10 \mu\text{m}$  的颗粒被各种胶结物质胶结为较大粒径的微团聚体, 所以土壤含有较多的大粒级微团聚体。

### (二) 不同肥力土壤的胶结物质组成及其与各级微团聚体形成的关系

由表 2 可见, 有机质含量, 微生物胶数量, 多糖以及游离氧化铁含量均表现出高肥地大于低肥地。两个土类相比, 黑土的有机胶结物明显高于棕壤, 而无机胶结物游离氧化铁则相反。与矿质土粒相复合有机质的结合形态虽然在两个土类间没有明显规律, 但高肥与低肥相比, 高肥地的松结合态有机质明显高于低肥, 紧结合态有机质则相反。

为了进一步说明土壤胶结成分与土壤微团聚体组成的关系, 我们计算了几种主要土壤胶结成分与土壤微团聚体组成的单相关系数(表 3)。结果表明, 不论是黑土还是棕壤, 其有机质总量、松结合态有机质含量、微生物胶以及多糖含量均与 10— $250 \mu\text{m}$  微团聚体含量呈显著正相关, 紧结合态有机质以及小于  $2 \mu\text{m}$  粘粒含量与小于  $10 \mu\text{m}$  的微团聚体含量呈正相关。氧化铁则不同, 在黑土中与各级微团聚体的相关性均不显著; 而在棕壤上与 10— $250 \mu\text{m}$  的微团聚体含量呈显著正相关。由此可以初步认为, 土壤中小于  $2 \mu\text{m}$  的粘粒和紧结合态有机质是形成小于  $2 \mu\text{m}$  的粘粒和紧结合态有机质是形成小于  $10 \mu\text{m}$  微团聚体的基本胶结剂, 松结合态有机质、微生物胶以及多糖则是形成大于  $10 \mu\text{m}$  微团聚体的主要胶结物。施用有机肥料, 不断保持和更新土壤中胶结物质是培肥土壤, 改善土壤结构的重要条件。

### (三) 各种胶结物质去除后的结构破坏率

由上述内容可以看出, 各种胶结物质对各级微团聚体的影响各有差异, 这不但取决于

表 1 供试土壤的基本理化性质  
Table 1 Physical and chemical properties of soils in the experiment

土壤类型 Soil type	采样地点 Sampling site	肥力水平 Fertility level	全氮 (g/kg) Total N	pH(H <sub>2</sub> O)	阳离子交换量 CEC (cmol(+)/kg)	容重 (g/cm <sup>3</sup> ) Bulk density	微团聚体组成 Composition of microaggregates (%)						团聚度* (%) Degree of aggregation	
							<2μm	2~5μm	5~10μm	10~50μm	50~250μm	<10μm		10~250μm
黑 土	吉林省农科院内	高肥	1.85	7.75	35.8	1.09	5.68	5.19	12.3	38.8	23.8	23.2	67.6	50
		低肥	1.35	7.95	27.7	1.23	4.82	4.28	15.0	37.0	28.2	24.1	65.2	42
	吉林省农科院内	高肥	1.51	7.80	29.6	1.14	5.54	4.89	13.6	37.6	28.8	24.0	66.4	41
		低肥	1.24	7.75	25.3	1.27	5.61	3.75	14.3	35.2	27.8	23.6	63.1	36
棕 壤	吉林省农科院刘房子	高肥	1.47	7.50	27.2	1.17	5.71	3.25	15.4	35.8	24.4	24.3	60.2	25
		低肥	1.21	7.30	24.1	1.29	4.97	4.96	15.2	35.2	24.0	25.1	59.3	22
	东北农学院	高肥	1.49	7.40	28.9	1.11	5.76	4.01	13.5	37.0	28.0	23.5	65.0	41
		低肥	1.30	7.60	26.7	1.23	5.85	4.39	15.2	35.2	24.9	25.5	60.0	33
棕 壤	沈阳农业大学(天柱山)	高肥	1.29	6.65	26.3	1.18	4.05	3.21	14.1	40.0	27.7	21.4	67.7	12
		低肥	0.96	6.50	24.8	1.32	3.69	4.01	10.4	38.7	28.0	18.1	66.7	9.0
	沈阳农业大学(天柱山)	高肥	0.99	6.85	23.2	1.23	3.78	4.34	10.0	38.8	28.5	18.1	67.3	10
		低肥	0.80	6.40	21.1	1.35	3.17	4.91	13.4	37.3	28.4	20.8	65.7	8.0
辽宁省金县	高肥	0.94	6.70	22.1	1.26	4.78	4.04	11.2	38.7	28.6	20.1	67.3	10	
	低肥	0.85	6.85	18.7	1.39	4.85	3.37	11.5	36.1	27.8	19.7	63.9	5.0	
山东省泰安	泰安	高肥	0.98	6.90	21.3	1.25	4.29	4.31	9.16	37.9	28.0	17.8	65.8	8.0
		低肥	0.92	6.75	20.3	1.29	3.6 <sup>c</sup>	4.35	10.6	36.8	27.7	18.9	64.6	4.0

\* 团聚度(%) = 大于10μm微团聚体分折值 - 大于10μm机械分折值 × 100  
大于10μm机械分折值

表 2 不同肥力黑土、棕壤的胶结物质成分  
 Table 2 Constituent of cementing substances in black soil and brown forest soil with different fertility levels

土壤类型 Soil type	肥力水平 Fertility level	有机质含量 (g/kg) O. M.	松散态有机质占 总有机质质量 (%) Loosely combined humus	紧结态有机质 占总有机质质量 (%) Tightly combined humus	稳结态有机质 占总有机质质量 (%) Steadily combined humus	微生物胶 (%) Microbial gum	多糖 (%) Polysaccharide	游离氧化铁 (%) Free iron oxide
黑	高肥	30.1	50.17	45.85	3.98	0.11	0.41	1.21
	低肥	19.9	45.23	46.23	8.54	0.06	0.33	1.16
	高肥	28.8	49.83	46.75	3.42	0.09	0.40	1.23
	低肥	17.8	44.94	46.25	8.81	0.06	0.23	1.27
土	高肥	22.1	49.77	46.75	4.08	0.06	0.34	1.03
	低肥	17.6	45.45	47.72	6.83	0.04	0.28	1.00
	高肥	27.0	49.63	46.41	3.96	0.09	0.39	1.27
	低肥	19.6	45.92	47.95	6.13	0.05	0.31	1.23
棕	高肥	18.6	50.00	47.77	2.23	0.06	0.30	2.18
	低肥	15.7	45.22	46.52	8.26	0.04	0.24	1.77
	高肥	16.7	49.30	46.11	4.59	0.05	0.27	1.84
	低肥	14.7	46.29	47.68	6.93	0.04	0.21	1.64
壤	高肥	16.4	49.81	47.95	2.24	0.05	0.27	1.87
	低肥	14.2	45.30	46.29	8.41	0.03	0.20	1.57
	高肥	17.4	48.82	46.13	6.05	0.06	0.27	2.02
	低肥	16.0	46.21	47.15	6.64	0.05	0.25	1.76

表 3 各种胶结成分与微团聚体组成相关系数\*

Table 3 Correlation coefficient of some cementing constituent and composition of microaggregates

土壤类型 Soil type	微团聚体粒级 Microaggregates size ( $\mu\text{m}$ )	总有机质 Total O. M.	紧密结合有机质 Tightly combined humus	疏松结合有机质 Loosely combined humus	微生物胶 Microbial gum	多糖 Polysaccharide	游离氧化铁 Free iron oxide	粘粒 ( $<2\mu\text{m}$ ) Clay
黑土	$<10$	-0.613	0.897	-0.601	-0.670	-0.594	-0.467	0.889
	10—250	0.658	0.711	0.624	0.722	0.677	0.273	-0.826
棕壤	$<10$	0.036	0.819	0.216	-0.011	0.007	0.008	0.933
	10—250	0.748	0.325	0.788	0.705	0.789	0.758	0.302

\*  $n = 8$ ,  $r_{0.05} = 0.707$ ,  $r_{0.01} = 0.834$ .

表 4 各种形态胶结物质脱离后的结构破坏率 (%)

Table 4 Destruction percentage of removing difference cementing substances

土壤类型 Soil type	肥力水平 Fertility level	微团聚体粒级 ( $\mu\text{m}$ ) Microaggregates size	有机胶结物 Organic cementing			无机胶结物 Inorganic cementing				
			疏松结合 Loosely combined humus	稳结合态 Steadily combined humus	紧密结合* Tightly combined humus	总有机质 Total O. M.	无定形氧化铁 Amorphous iron oxide	游离氧化铁 Free iron oxide	晶质氧化铁 Crystal iron oxide	粘粒** Clay
黑 土	高 肥	2—10	8.2	8.8	40.8	57.8	16.7	17.0	0.3	17.8
		10—50	23.7	13.7	22.4	59.8	7.6	7.8	0.2	6.7
		50—250	8.6	4.2	2.7	15.5	2.1	2.3	0.2	4.2
	低 肥	2—10	5.1	9.7	40.6	55.4	13.2	13.3	0.1	18.1
		10—50	23.2	14.3	20.7	58.2	5.3	5.4	0.1	6.4
		50—250	5.9	4.4	4.2	14.5	1.6	1.8	0.2	4.0
棕 壤	高 肥	2—10	8.4	8.0	38.6	55.0	15.1	15.1	0	17.2
		10—50	23.8	14.3	21.6	59.7	12.8	13.3	0.5	5.8
		50—250	8.4	3.3	2.6	14.3	8.3	11.0	2.7	4.4
	低 肥	2—10	5.3	8.8	39.6	53.7	13.7	14.3	0.6	16.3
		10—50	21.7	15.7	21.4	58.8	11.2	11.4	0.2	7.3
		50—250	5.8	4.6	4.4	14.4	7.5	9.6	2.1	3.7

\* 紧密结合有机质的破坏率系由全部有机质破坏效果与疏松结合和稳结合态破坏率之差而得。

\*\* 粘粒的破坏率根据微团聚体全部解体后,残留在每级的无机矿物质颗粒所占百分数和所有有机胶结物以及氧化铁去除后的结构破坏率计算而得。

胶结物质的数量,而且还决定于胶结物质的形态。因此,我们选用不同肥力黑土、棕壤各一对,将其各级微团聚体以不同试剂处理,去除各种胶结物质,并计算其结构破坏率,以验证不同胶结物对各级微团聚体形成的影响,并分析各种胶结物质在各级微团聚体中的作用程度。

去除松结合态有机物质以后,10—50  $\mu\text{m}$  级微团聚体的破坏效果最高,达20%以上。2—10  $\mu\text{m}$  和50—250  $\mu\text{m}$  二级微团聚体的破坏率均在10%以下。去除稳结合态有机物以后的破坏率虽然低于松结合态,但规律与松结合态一致。去除全部有机物以后各种微团聚体的破坏率明显提高,但仍以10—50  $\mu\text{m}$  一级最为突出,破坏率达60%左右(表4)。由此可见,几种形态有机物在各级微团聚体中均有一定的胶结作用,但作用程度极不相同。就破坏率大小而言,紧结合态有机物对较小粒级微团聚体的影响较大,松结合态有机物对较大粒级微团聚体的影响较强。这与上述相关分析的结果是一致的。

去除无定形氧化铁后棕壤各级微团聚体的破坏率明显高于黑土,而且高肥又大于低肥。就各级微团聚体本身而言,黑土对小于10  $\mu\text{m}$  微团聚体的破坏效果较强;棕壤则对大于10  $\mu\text{m}$  微团聚体的破坏效果较明显。就不同形态的氧化铁来看,起胶结作用的主要

表5 几种胶结物在微团聚体形成中的作用

Table 5 The role of different cementing substances in microaggregation

土壤 Soil type	肥力水平 Fertility level	粒级 ( $\mu\text{m}$ ) Fraction	几种胶结物质的作用程度顺序 The role of different cementing substance
黑 土	高 肥	2—10	紧结合态有机胶结物>粘粒>无定形氧化铁>稳结合态有机物>松结合态有机物
		10—50	松结合态有机物>紧结合态有机物>稳结合态有机物>无定形氧化铁>粘粒
		50—250	松结合态有机物>稳结合态有机物>粘粒>紧结合态有机物>无定形氧化铁
	低 肥	2—10	紧结合态有机物>粘粒>无定形氧化铁>稳结合态有机物>松结合态有机物
		10—50	松结合态有机物>紧结合态有机物>稳结合态有机物>粘粒>无定形氧化铁
		50—250	松结合态有机物>稳结合态有机物>紧结合态有机物>粘粒>无定形氧化铁
棕 壤	高 肥	2—10	紧结合态有机物>粘粒>无定形氧化铁>松结合态有机物>稳结合态有机物
		10—50	松结合态有机物>紧结合态有机物>稳结合态有机物>无定形氧化铁>粘粒
		50—250	松结合态有机物>无定形氧化铁>粘粒>稳结合态有机物>紧结合态有机物
	低 肥	2—10	紧结合态有机物>粘粒>无定形氧化铁>稳结合态有机物>松结合态有机物
		10—50	松结合态有机物>紧结合态有机物>稳结合态有机物>无定形氧化铁>粘粒
		50—250	松结合态有机物>稳结合态有机物>无定形氧化铁>紧结合态有机物>粘粒

是无定形氧化铁,晶质氧化铁对结构本身影响不大(表 4)。

#### (四) 胶结物质在各级微团聚体中作用程度的综合分析

土壤中各级微团聚体的形成,除受有机胶结物和氧化铁的影响外,尚有其他物质的作用。Lutz (1936) 认为粘粒在土壤微团聚体的形成中也占有一定的作用<sup>[6]</sup>。Edwards 和 Bremner (1967) 指出,土壤中的各级微团聚体除由胶结物质胶结而成的复合体以外,尚有一部分未参与复合和团聚的无机矿质颗粒存在。因此,我们根据微团聚体全部解体以后,残留在此级的无机矿质颗粒所占的百分数和去除其他各种胶结物的结构破坏率,计算粘粒 ( $<2\mu\text{m}$ ) 在各级微团聚体中的作用程度。结果表明,残留在各级微团聚体中的未参与复合和团聚的无机矿质颗粒,在不同粒级微团聚体中可占到 8—80%,随着微团聚体粒径增大而明显增加,粘粒在各级微团聚体中的作用程度可达 3—17%,且随着微团聚体粒径增大而减少。

综合以上各项结果可以看出,就两大类胶结物质而言,以有机胶结物的作用较大。对于不同形态的胶结物质来讲,其作用程度按微团聚体粒级的不同而异。小粒级微团聚体,紧密结合态有机胶结物的作用十分明显,其次是粘粒。大粒级微团聚体中松结合态有机胶结物的作用较大,而且没有参与复合和团聚的无机矿质颗粒占的比重很高。高肥与低肥相比,前者有机胶结物的作用更为明显(表 5)。

#### 参 考 文 献

- [1] 熊毅,1974: 土壤有机无机复合: III 有机化合物与粘粒的相互作用。土壤农化参考资料,第 5 期,第 1—4 页。
- [2] 陈恩凤、周礼凯、邱凤琼、严昶升、高子勤,1984: 土壤肥力实质的研究 I. 黑土。土壤学报,第 21 卷 3 期,229—237 页。
- [3] 陈恩凤、周礼凯、邱凤琼、严昶升,1985: 土壤肥力实质的研究 II. 棕壤。土壤学报,第 22 卷 2 期,113—126 页。
- [4] 高子勤,1984: 土壤有机质在黑土有机质复合体中的状态研究。土壤肥力研究文集,17—27 页,辽宁科学出版社。
- [5] 傅积平、褚金海、高以信,1981: 西藏高山土壤复合胶体特性的初步研究。土壤,第 1 期,第 7—11 页。
- [6] Lutz, J. F., 1936: The relation of free iron in the soil to aggregation. soil sci. soc. Am. Proc., 1:43—45.
- [7] Chatterjee, P. K., 1970: Studies on aggregates formation with reference to cementing substances. Soil sci. and plant Nutr 16: 231—233.
- [8] Forsyth, W. G. C. 1947: Studies on the more saluble complexes of soil organic matter. I. method of fractionation. Biochem. J., 41: 176—181.

## COMPOSITION OF MICROAGGREGATE AND CEMENTING SUBSTANCES IN BLACK SOILS AND BROWN FOREST SOILS WITH DIFFERENT FERTILITY LEVELS

Guan Lianzhu, Zhang Baiquan and Yan Li  
(Shenyang Agricultural University 110161)

### Summary

By using the methods of correlation analysis and dissection, the microaggregate composition and cementing substances in black soils and brown forest soils of different fertility levels were studied. The results obtained are summarized as follows.

The content of  $> 10\mu\text{m}$  microaggregates and the degree of aggregation of soil markedly increased with the increase of soil fertility level. The soil constituent affected greatly the formation and distribution of soil microaggregates.

The contents of loosely combined humus, microbial gum and polysaccharide had a very significantly positive correlation with the content of  $> 10\mu\text{m}$  microaggregates. The content of clay ( $< 2\mu\text{m}$ ) and tightly combined humus were strongly positively correlated to the content of  $< 10\mu\text{m}$  microaggregates. In soil, clay ( $< 2\mu\text{m}$ ) and tightly combined humus were basic cementing agents of  $< 10\mu\text{m}$  microaggregates, and loosely combined humus, microbial gum and polysaccharide were main binding materials of  $> 10\mu\text{m}$  microaggregates.

In the formation of microaggregates, the effect of iron oxide varied with soil types. The effect of amorphous iron oxide was greater than that of crystal iron oxide. In black soil, the role of organic cementing material was greater than that of inorganic cementing substances, and in brown forest soil, and organic cementing material and inorganic cementing substance were alike in the role. The effect of organic cementing material was increased with the raising of soil fertility level. Therefore, promotion of soil fertility must take notice of increasing the content and improving the composition of cementing materials, especially the organic cementing substances.