

# 耕作白浆土有机无机复合体 腐殖质组成及类型

赵兰坡 马 晶 杨学明 孙艳君

(吉林农业大学土化系, 130118)

## 摘 要

本文用 Kumada 法研究了耕作白浆土各粒径级分中有机质的特征。结果表明, 土壤及各粒径级分中有机碳含量多是高肥土壤大于低肥, 并随复合体粒径增大而下降, 下降的比例是高肥小于低肥; 土壤有机质及粘粒含量影响有机碳贮量曲线与各粒径级分含量曲线的关系, 高肥土壤中粉粒或细砂级分中的有机碳贮量明显高于低肥。土壤及各粒径级分的腐殖质以能被  $0.1 \text{ mol/L NaOH}$  提取的游离态为主, 其胡敏酸 (HA) 含量、 $PQ_1$  值等多项指标均有高肥大于低肥的趋势, 由  $\Delta \log k$  与 RF 值所决定的 HA 腐殖化度则是高肥小于低肥。上述规律在粉粒及细砂级分中表现的最为明显。随粒径增大, 游离态腐殖质及其 HA 含量等均有下降趋势, 但  $PQ_1$  则是粉粒中稍高; 游离态 HA 类型随粒径增大而变化的序列为: A 型 (粘粒) - B 型 (粉粒) -  $R_p$  型 (细砂)。  $0.1 \text{ mol/L Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  提取的结合态腐殖质及其 HA 含量与腐殖化度等均以粉粒中最高, 粘粒及细砂中次之,  $PQ_2$  则随粒径的增大而减小; 无论肥力高低, 结合态 HA 大都为腐殖化度较高的 A 型, 少数为 B 及 P 型。

**关键词** 耕作白浆土, 有机无机复合体, 腐殖质组成, 胡敏酸类型

有机无机复合体是土壤肥力的物质基础, 是土壤中有机和无机胶体的主要存在形式。关于有机无机复合体的分组研究, 国内外曾进行了大量的工作。主要采用本世纪 20、30 年代丘林提出的胶散分组法和 60 年代后期 Edwards 等提出的超声波分散、颗粒大小分组法<sup>[15]</sup>。

关于土壤腐殖质组成的研究, Simon 和 Speichermann 曾根据溶于一定溶剂 (如 NaOH、NaF 等) 中的有机物质的量及胡敏酸在可见光波段的吸收光谱形状等来表征土壤腐殖质组成及性质, 并将胡敏酸分成 A 型和 B 型<sup>[7]</sup>。Kumada 用 Simon 法对日本的水田土壤等进行了详细研究, 在此基础上参考弘法和大羽的研究成果, 提出了用  $0.1 \text{ mol/L NaOH}$  和  $0.1 \text{ mol/L Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  连续提取, 以  $RF - \Delta \log K$  图进行胡敏酸分类的新方案<sup>[8, 16]</sup>。该法能够较好地反映土壤类型的差异及耕作等措施对土壤腐殖质组成和性质的影响<sup>[9]</sup>。本文以不同肥力、长期种植玉米的白浆土为对象, 采用超声波法分散、颗粒大

小分组法分离复合体, 按 Kumada 法分析了土壤及其各级复合体的腐殖质组成及类型。目的在于探讨不同耕作制度及培肥条件下土壤腐殖质组成及性质的变化规律, 为玉米带土壤的培肥改良提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

土壤样品采自吉林省东南部白浆土区, 为不同肥力、长期种植玉米的白浆土耕层, 共七组 16 个样品, 其基本性质见表 1。

### 1.2 分析方法

1.2.1 不同粒径级分复合体的分离提取 参考 Edwards 等的方法<sup>[15]</sup>, 将土样经饱和 NaCl 处理后, 用超声法分散 (JC-3 型探头式超声处理机, 150 W、24 KHz、15 min), 按沉降法及筛分法分离出粘粒 (<2 μm)、粉粒 (2—20 μm)、细砂 (20—200 μm) 及粗砂 (>200 μm) 共四级复合体, 烘干称量后备用, 并计算出各级复合体的含量。

1.2.2 腐殖质组成分析 按 Kumada 法进行<sup>[7]</sup>。即先以 0.1 mol/L NaOH 提取游离态腐殖质, 继而用 0.1 mol/L Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 提取结合态腐殖质, 提取液经酸沉淀后, 分离出 HA 和 FA, HA 经稀碱溶解后, 于波长 400 和 600 nm 处测定消光系数 (K<sub>400</sub> 及 K<sub>600</sub>), 并按高锰酸钾氧化滴定法分别定量 HA 和 FA。

1.2.3 分析结果表示 a、b 分别为每克土壤或复合体中含有的 HA 和 FA 消耗 0.02 mol/L KMnO<sub>4</sub> 的毫升数; H<sub>T</sub>: 为每克土壤或复合体消耗 0.02 mol/L KMnO<sub>4</sub> 的毫升数。本研究中, 土壤及各级复合体的有机碳采用丘林法测定, 然后按每毫升 0.02 mol/L KMnO<sub>4</sub> 可氧化 0.45 mg 有机碳计算出 H<sub>T</sub> 值; H<sub>E</sub>/H<sub>T</sub> × 100 (%): 为腐殖质的提取率, H<sub>E</sub> 为 NaOH 与 Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 提取的腐殖质之和; PQ: 为 HA 占可提取腐殖质的百分率, PQ = [a / (a + b)] × 100%; ΔlogK: 色调系数, ΔlogK = log(K<sub>400</sub> / K<sub>600</sub>); RF: 相对色度, RF = K<sub>600</sub> × 1000 / C, C 为每 30 ml 测定消光系数用的 HA 溶液消耗 0.02 mol/L KMnO<sub>4</sub> 的毫升数; fHa、fFa 分别为游离态 HA 的比率, fHa = [a<sub>1</sub> / (a<sub>1</sub> + a<sub>2</sub>)] × 100%, fFa = [b<sub>1</sub> / (b<sub>1</sub> + b<sub>2</sub>)] × 100%; (a<sub>1</sub> + b<sub>1</sub>) / H<sub>E</sub> × 100%: 游离态腐殖质比率。

1.2.4 胡敏酸分类 按 RF - ΔlogK 图进行<sup>[7]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 各粒径级分中有机碳的分布特征

表 1 为供试土壤的基本性状资料。首先应该说明的是, 各土壤中不同粒径级分含量与去除有机质后机械分析的结果 (略) 是基本一致的。说明本试验所采用的超声波分散条件将土壤分散的比较完全, 未发生颗粒显著破碎现象。

从表 1 和图 1 可见, 耕作白浆土的粘粒复合体含量大都不高, 平均值 22.3%, 而粉粒和细砂复合体的含量相对较高, 平均值分别为 32.3% 和 35.9%, 粗砂复合体含量最少, 平均为 9.5%。这一复合体组成的特点, 是土壤本身的成土过程所决定的。据律兆松等的研究, 吉林安图发育在粘土沉积物上的未垦白浆土表层和白浆层中粘粒含量也较

表1 耕作白浆土的基本性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of cultivated albic soils

采样地点 Locality	样号 Sample No.	肥力水平 Fertility status	pH (H <sub>2</sub> O)	有机质 O. M. (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	碱解氮 Alkali-hydrolyzable (g/kg)	有机磷 Available P (g/kg)	各粒径级含量 (%)				玉米产量 Corn yield (kg/ha)
									<2 μm	2—20 μm	20—200 μm	>200 μm	
伊通	1	高肥	6.1	24.6	1.61	0.67	138	9.8	29.6	25.6	42.4	2.4	6000—8000
	2	高肥	5.9	23.0	1.50	0.80	123	21.8	31.1	27.9	38.1	2.9	6000—8000
盘石	3	低肥	6.0	22.9	1.36	0.60	113	4.8	41.7	27.5	27.9	3.0	4500—7500
	4	高肥	5.8	26.1	1.65	0.81	163	11.8	21.2	28.6	35.6	14.6	6000—7500
盘石	5	低肥	5.5	29.8	1.72	0.74	134	10.2	27.0	30.0	34.2	8.8	4500—6000
	6	高肥	5.8	34.2	2.20	0.88	163	15.0	29.0	24.7	37.6	8.7	6000—7500
靖宇	7	高肥	5.9	31.1	2.01	0.74	146	14.2	27.8	27.3	40.4	4.4	6000—7500
	8	低肥	6.0	28.8	1.90	0.60	125	8.9	25.4	25.0	43.1	6.5	4000—6000
靖宇	9	高肥	5.9	73.0	4.72	1.71	341	8.1	14.7	37.5	28.9	18.8	6000—8000
	10	低肥	5.8	50.9	3.08	1.47	271	5.8	13.2	32.8	31.4	22.5	4000—6000
蛟河	11	高肥	5.9	74.6	4.07	1.59	289	8.4	18.3	37.8	27.2	16.7	6000—8000
	12	低肥	5.9	54.8	3.29	1.36	241	6.2	20.5	38.9	25.7	14.8	4500—6000
榆树	13	高肥	5.5	62.2	3.58	1.10	131	20.1	14.8	38.2	38.4	8.6	6500—8000
	14	低肥	5.3	42.0	2.51	0.98	110	11.4	13.6	37.9	37.8	10.8	4500—6000
榆树	15	高肥	5.6	48.1	2.71	1.61	143	25.0	12.9	38.9	43.9	4.3	6500—9000
	16	低肥	5.5	47.0	2.66	1.01	115	13.6	15.2	38.1	42.5	4.2	5000—6500

表2 土壤有机碳在有机无机复合体中的分布\*

Table 2 Distribution of organic carbon in different particle size fractions

Sample No.	Fertility status	土壤有机碳 (g/kg)												损失率 Loss rate (D-E)/D ×100%				
		<2 μm			<2-20 μm			20-200 μm			>200 μm				测定值 D Measured value (D)	计算值 E Calculated value (E)		
		A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>			A <sub>2</sub> /A <sub>1</sub> ×100%	A <sub>3</sub> /A <sub>1</sub> ×100%	A <sub>4</sub> /A <sub>1</sub> ×100%
1	高肥	29.7	8.8	61.6	14.7	3.8	26.4	3.0	1.3	9.1	8.3	0.2	1.4	14.3	14.1	50	10	28
2	高肥	27.1	9.0	67.7	9.7	2.7	20.3	2.8	1.1	8.3	4.2	0.1	0.8	13.3	12.9	35	10	16
3	低肥	25.8	10.8	81.1	6.7	1.8	13.5	1.1	0.3	2.3	2.4	0.1	0.8	13.3	13.0	26	4	9
4	高肥	37.9	8.0	52.6	10.3	4.0	26.3	6.4	2.3	15.1	1.6	0.1	0.7	15.2	14.4	27	17	4
5	低肥	40.4	10.9	63.0	10.9	3.3	19.0	6.4	2.2	12.7	1.1	0.1	0.6	17.3	16.5	27	16	3
6	高肥	44.6	12.9	65.2	14.5	3.6	18.1	6.9	2.6	13.1	1.6	0.1	0.5	19.8	19.2	33	15	4
7	高肥	41.3	11.5	63.8	13.1	3.6	20.0	5.5	2.2	12.2	2.4	0.1	0.6	18.0	17.4	32	13	6
8	低肥	44.0	11.2	67.1	8.9	2.2	13.2	5.3	2.3	13.8	1.6	0.1	0.6	16.7	15.8	20	12	4
9	高肥	72.0	10.6	25.0	44.5	16.7	39.4	34.4	9.9	23.3	10.6	2.0	4.7	42.4	39.2	62	48	15
10	低肥	71.3	9.4	31.9	32.9	10.8	36.6	20.7	6.5	22.0	5.6	1.3	4.4	29.5	28.0	46	29	8
11	高肥	74.0	13.5	31.2	44.4	16.8	38.9	34.4	9.4	21.7	8.5	1.4	3.2	43.3	41.1	60	46	11
12	低肥	63.3	13.0	40.9	28.4	11.0	34.6	17.7	4.5	14.2	9.9	1.5	4.7	31.8	30.0	45	28	16
13	高肥	44.2	6.5	18.0	33.1	12.6	34.9	38.8	14.9	41.3	8.8	0.8	2.2	36.1	34.8	75	88	20
14	低肥	42.5	5.8	23.8	24.6	9.3	38.1	20.7	7.8	32.1	6.8	0.7	2.9	24.4	23.6	58	49	16
15	高肥	44.5	5.7	20.4	29.2	11.4	40.9	20.3	8.9	31.9	9.0	0.4	1.4	27.9	26.4	66	46	20
16	低肥	42.4	6.4	23.4	23.4	8.9	32.6	22.8	9.7	35.5	9.9	0.4	1.5	27.3	25.4	55	54	23

\*A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>: 分别为粘粒、粉粒、细砂及粗砂级复合体的有机碳含量 (g/kg);

B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>: 分别为每公斤土壤中存在于粘粒、粉粒、细砂及粗砂级复合体中的碳量 (g/kg), 即分别为每公斤土壤中粘粒、粉粒、细砂及粗砂级复合体的含量与其有机碳含量的乘积;

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>: 分别为 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub> 占土壤有机碳 (测定值) 的百分数。E = B<sub>1</sub> + B<sub>2</sub> + B<sub>3</sub> + B<sub>4</sub>。

低<sup>[5]</sup>。

表 2 列出了供试土壤各级复合体的有机碳含量 (A) 和每千克土壤中分别贮存于某级复合体中的有机碳克数 (B) 及其占土壤有机碳量 (测定值) 的百分数 (C), 并将 C 值绘于图 1 中与各级复合体含量曲线相比较。为了检验各粒径级分离和其中有有机碳测定结果的可靠性, 表 2 列出了全土的有机碳测定值和计算值, 从表 2 可见, 二者相差均未超过 10%, 说明有机碳与各级复合体含量的分析结果是可靠的。

相同粒径不同肥力的土壤间比较来看, 无论在哪一粒级中, 有机碳含量绝大多数是高肥大于低肥; 同一土壤的不同粒径级分比较可见, 在大多数土壤中, 复合体的有机碳含量是随粒径的增大而减小的。这与已有的报道是一致的<sup>[10, 14, 17]</sup>。如将各土壤的粘粒复合体的含碳量作为 100%, 计算出其它三级复合体相对于粘粒复合体含碳量的百分数 (见表 2), 则可发现, 粉粒或细砂复合体的相对含碳量几乎均是高肥大于低肥。

从图 1 可见, 有机碳贮量 C 值是随复合体粒径大小而变化的。曲线的形状可分为两种类型: 一种是图 1 中 a、b、c、d 所示, 有机碳贮量曲线与各粒径级分含量曲线形状基本一致; 另一种是图 1 中 e、f、g 所示, 有机碳贮量曲线与各粒径级分含量曲线不一致, 有机碳贮量随粒径的增大而减小。分析其原因发现, 第一类曲线的土壤中, 有机

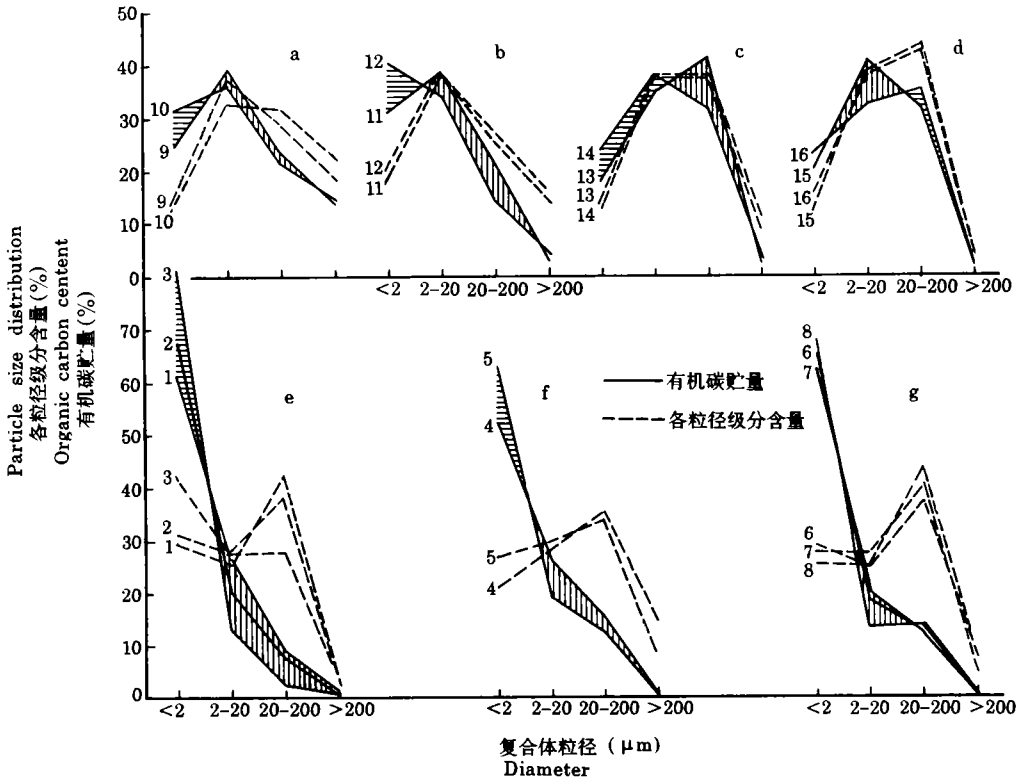


图 1 各粒径级分中有机碳的分布

Fig.1 Distribution of organic carbon in different particle size fractions

表3 耕作白浆土的腐殖质组成

Table 3 Composition of humus in cultivated albic soils

样品 Sample No.	肥力 水平 Fertility status	$H_T$	$H_e / H_T$ $\times 100$ (%)	$a_1$	$b_1$	$a_1 + b_1$	$PQ_1$	$\Delta \log$	$RF_1$	$a_2$	$b_2$	$a_2 + b_2$	$PQ_2$	$\Delta \log$	$RF_2$	$PQ_{12}$	fHa	fFa	$\frac{a_1 + b_1}{H_e}$ $\times 100$	
								$K_1$						$K_2$						
1	高肥	31.7	59	2.9	4.3	7.2	40	0.750	49	10.6	1.0	11.6	59	0.486	127	72	21	81	38	
2	高肥	29.6	65	3.8	3.8	7.6	50	0.678	56	9.6	1.9	11.5	83	0.470	135	70	28	67	40	
3	低肥	29.5	58	1.9	3.8	5.7	33	0.676	94	9.6	1.9	11.5	83	0.544	156	67	17	67	33	
4	高肥	33.7	90	12.0	12.5	24.5	49	0.648	35	3.8	1.9	5.7	67	0.450	100	52	76	87	81	
5	低肥	38.4	86	5.8	20.6	26.4	22	0.643	86	5.3	1.4	6.7	79	0.459	104	34	52	94	80	
6	高肥	44.1	59	6.7	7.7	14.4	47	0.674	79	10.6	1.0	11.6	91	0.508	143	67	39	89	55	
7	高肥	40.0	58	4.8	5.0	9.8	49	0.667	79	11.5	1.9	13.4	86	0.474	139	70	29	72	42	
8	低肥	37.1	57	3.4	7.3	10.7	32	0.662	135	9.6	1.0	10.6	91	0.477	148	61	26	88	50	
9	高肥	94.2	61	20.2	24.5	44.7	45	0.584	73	7.7	4.8	12.5	62	0.465	104	49	72	84	78	
10	低肥	65.6	62	13.4	20.6	34.0	39	0.570	78	3.4	3.4	6.8	50	0.418	148	41	80	86	84	
11	高肥	96.1	61	25.0	21.1	46.1	54	0.602	75	8.6	3.8	12.5	69	0.466	100	57	74	85	79	
12	低肥	70.7	63	16.3	18.7	35.0	47	0.594	96	5.8	3.4	9.2	63	0.436	102	50	74	85	79	
13	高肥	80.2	55	23.0	12.5	35.5	65	0.720	49	5.3	3.7	9.0	59	0.504	114	64	81	77	80	
14	低肥	54.1	51	12.5	8.6	21.1	59	0.644	69	4.3	1.9	6.2	69	0.481	146	62	74	82	77	
15	高肥	62.0	66	16.3	17.3	33.6	49	0.694	39	6.0	1.4	7.4	81	0.502	143	54	73	93	82	
16	低肥	60.6	56	11.0	15.4	26.4	42	0.690	56	4.3	3.4	7.7	56	0.507	148	45	72	82	77	

表 4 白浆土粘粒复合物 ( $<2\mu\text{m}$ ) 的腐殖质组成

Table 4 Composition of humus in clay-organic complex ( $<2\mu\text{m}$ ) of albic soils

样品 Sample No.	肥力 水平 Fertility status	$H_T$	$H_E/H_T$ $\times 100$ (%)	$K_1$				$K_2$				$fFa$	$\frac{a_1+b_1}{H_E}$ $\times 100$						
				$a_1$	$b_1$	$a_1+b_1$	$PQ_1$	$\Delta\log$	$RF_1$	$a_2$	$b_2$			$a_2+b_2$	$PQ_2$	$\Delta\log$	$RF_2$	$PQ_{12}$	$fHa$
1	高肥	66.0	74	30.0	15.2	45.2	66	0.518	129	2.9	1.0	3.9	14	0.487	69	67	91	94	92
2	高肥	60.2	80	28.6	17.6	46.2	62	0.504	128	1.6	0.5	2.1	76	0.490	86	63	95	97	96
3	低肥	57.4	71	26.4	11.0	37.4	71	0.503	139	2.4	1.0	3.4	71	0.459	90	71	92	92	92
4	高肥	84.2	77	30.8	33.0	63.8	48	0.587	81	1.0	0.3	1.3	77	0.515	115	49	91	99	98
5	低肥	89.7	70	34.1	27.5	61.6	55	0.566	87	1.4	0.2	1.6	88	0.546	81	56	96	99	97
6	高肥	99.1	81	53.8	23.4	77.2	70	0.540	109	2.4	0.3	2.7	89	0.485	103	70	96	99	97
7	高肥	91.8	79	46.1	24.7	70.8	65	0.541	116	1.4	0.2	1.6	88	0.499	163	66	97	99	98
8	低肥	97.8	76	51.6	20.7	72.3	71	0.549	119	1.4	0.2	1.6	86	0.516	142	72	97	99	98
9	高肥	160.1	74	52.7	59.1	111.8	47	0.542	79	6.2	0.7	6.9	90	0.472	46	50	98	99	94
10	低肥	158.4	76	59.3	50.5	109.8	54	0.552	84	11.0	0.2	11.2	98	0.516	17	58	84	99	91
11	高肥	164.5	54	52.8	28.8	81.6	65	0.547	99	3.8	3.4	7.2	53	0.496	96	64	93	90	92
12	低肥	140.6	53	43.2	26.9	70.1	62	0.549	94	2.4	1.9	4.3	56	0.526	82	61	95	93	94
13	高肥	98.2	73	33.0	32.3	65.3	51	0.594	85	3.8	2.2	6.0	63	0.457	130	52	90	94	92
14	低肥	94.5	70	30.2	30.8	61.0	50	0.570	86	5.3	0.2	5.5	96	0.485	117	53	85	99	92
15	高肥	98.9	72	38.5	30.2	68.7	56	0.571	78	2.6	0.2	2.8	93	0.453	126	57	94	99	96
16	低肥	94.2	67	30.2	30.7	60.9	50	0.581	83	2.4	0.2	2.6	92	0.457	154	51	93	99	96





表 6 白浆土细砂复合体 (20—200 $\mu$ ) 的腐殖质组成

Table 6 Composition of humus in fine sand fraction (20—200 $\mu$ m) of albic soils

样品 Sample No.	肥力 水平 Fertility status	$H_T$	$H_e/H_T$ $\times 100$ (%)	$a_1$	$b_1$	$a_1+b_1$	$PQ_1$	$K_1$				$\Delta \log K_2$	$RF_2$	$PQ_{12}$	$fHa$	$\frac{a_1+b_1}{H_e}$ $\times 100$			
								$\Delta \log K_1$	$a_2$	$b_2$	$a_2+b_2$						$PQ_2$		
1	高肥	6.6	53	1.8	0.9	2.7	67	0.793	20	0.5	0.3	0.8	63	0.569	106	66	78	75	77
2	高肥	6.1	44	1.1	0.7	1.8	61	0.823	29	0.5	0.4	0.9	56	0.563	115	59	69	64	67
3	低肥	2.4	46	0.4	0.3	0.7	57	0.589	72	0.2	0.2	0.4	50	0.581	178	55	67	60	74
4	高肥	14.2	38	2.6	1.7	4.3	60	0.751	6.4	0.7	0.4	1.1	64	0.560	956	61	79	81	80
5	低肥	14.2	38	2.5	1.8	4.3	58	0.737	7.5	0.7	0.4	1.1	64	0.526	126	59	78	82	80
6	高肥	15.3	39	2.9	1.7	4.6	63	0.847	23	1.2	0.2	1.4	86	0.625	76	68	71	89	77
7	高肥	12.1	41	2.3	1.3	3.6	64	0.849	22	1.0	0.4	1.4	71	0.545	97	66	70	76	72
8	低肥	11.8	41	1.5	2.0	3.5	43	0.841	26	0.9	0.4	1.3	69	0.510	101	50	63	83	73
9	高肥	76.3	45	13.5	9.0	22.5	50	0.638	57	8.3	3.2	11.5	72	0.448	118	64	62	74	66
10	低肥	45.9	50	9.0	7.7	16.7	54	0.601	60	4.4	1.9	6.3	70	0.426	121	58	67	80	73
11	高肥	76.3	45	10.8	8.9	19.7	55	0.681	68	12.8	1.5	14.3	90	0.466	117	69	46	86	58
12	低肥	39.3	51	7.0	6.1	13.1	53	0.625	80	5.4	1.4	6.8	79	0.502	28	62	56	81	66
13	高肥	86.3	37	16.6	7.8	24.4	68	0.831	31	6.6	0.9	7.5	88	0.611	69	73	72	90	76
14	低肥	45.9	42	9.0	4.9	13.9	65	0.765	40	4.8	0.8	5.6	86	0.541	100	71	65	86	71
15	高肥	45.0	42	8.2	5.1	13.3	62	0.770	29	4.6	0.9	5.5	84	0.580	90	68	64	85	71
16	低肥	50.6	35	8.2	4.8	13.0	63	0.819	33	4.0	0.9	4.9	82	0.563	92	68	67	84	73

质含量相对较高 (42.0 — 74.6 g /kg), 而粘粒复合体的含量却相对较低 (12.9 — 20.5%); 第二类曲线的土壤中, 有机质含量相对较低 (22.9 — 34.2 g /kg), 而粘粒复合体的含量相对较高 (21.2 — 41.7%)。说明土壤有机质的分布是受土壤有机质含量及复合体组成制约的。一般情况下, 有机质将优先向细颗粒中积累, 当土壤中粘粒含量相对较低, 且有机质给源又较丰富时, 粘粒结合的有机质的量达到饱和后, 有机质向较大颗粒中的积累便增多。Tsutsuki 等对连续 10 年大量施有机肥的旱田土壤的研究发现, 施有机肥的土壤较无肥土壤的粉粒及细砂复合体中有机碳含量大幅度提高<sup>[18]</sup>。不同肥力土壤间比较可见, 高肥土壤的粉粒或细砂复合体中有机碳的贮量明显高于低肥土壤 (图 1 中划竖线的区域), 而高肥土壤粘粒复合体中有机碳贮量却相对有所下降 (图 1 中划横线的区域)。这与前述的高肥土壤中粉粒或细砂复合体的相对含碳量大于低肥土壤的结果是一致的。

## 2.2 不同肥力土壤及其各级复合体的腐殖质组成

表 3—6 为供试土壤及其各级复合体中腐殖质组成的分析结果, 表中各项指标的下脚标 1、2 分别表示 0.1 mol /L NaOH 和 0.1 mol /L  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  提取的腐殖质。Kumada 分别将其称为游离态和结合态腐殖质<sup>[8-16]</sup>。前者与 Anderson 等<sup>[12]</sup>、熊毅和傅积平等<sup>[2]</sup>的松结态腐殖质相当。表中的 PQ 值与 HA /FA 的意义相近。 $\Delta\log K$  (色调系数) 和 RF (相对色度) 是表征胡敏酸腐殖化程度的指标,  $\Delta\log K$  主要表征胡敏酸分子中芳香环缩合度, RF 在计算中涉及到  $K_{600}$ , 它是胡敏酸分子中双键 ( $\pi$  电子) 的平均密度及芳香环缩合度的综合指标<sup>[9]</sup>,  $\Delta\log K$  越大、RF 值越小, 胡敏酸的腐殖化程度越低, 反之则高<sup>[8,9]</sup>。

从表 3 可见, 耕作白浆土的肥力水平不同, 其腐殖质组成及性质是有差异的。主要表现在高肥土壤全土中游离态腐殖质的  $a_1$ 、 $\text{PQ}_1$  及  $\text{PQ}_{12}$  均大于低肥土壤; 绝大多数高肥土壤中的 fHa 和游离态腐殖质含量 ( $a_1 + b_1$ ) 也大于低肥。另外, 高肥土壤的游离态与结合态胡敏酸的  $\Delta\log K$  值大多大于低肥土壤, 而 RF 值则几乎均小于低肥土壤, 说明高肥土壤中胡敏酸的腐殖化程度小于低肥。上述结果, 可能与高肥土壤中每年施入了较多的玉米根茬及秸秆或泥炭等培肥材料有关。曾有研究表明, 土壤中施入有机物料后, 可明显提高游离松结态腐殖质含量<sup>[3,4]</sup>; 并且, C /N 比较高的有机物料所形成的腐殖质的 HA /FA 比值也较大, 但 HA 的光密度 ( $E_4$ ) 值却较小, 腐殖化度较低<sup>[1]</sup>。

表 4 可见, 在粘粒复合体中, 除多数高肥土壤的游离态胡敏酸 ( $a_1$ ) 和游离态腐殖质含量 ( $a_1 + b_1$ ) 大于低肥而  $\text{RF}_1$  小于低肥外, 未发现其它规律性差异。粉粒复合体 (表 5) 中, 游离态胡敏酸含量 ( $a_1$ ) 和腐殖质含量 ( $a_1 + b_1$ )、 $\text{PQ}_1$ , 结合态胡敏酸含量 ( $a_2$ ) 和腐殖质含量 ( $a_2 + b_2$ )、 $\text{PQ}_2$  大都是高肥大于低肥; 游离态与结合态胡敏酸之和占腐殖质提取总量 ( $H_E$ ) 的百分数 ( $\text{PQ}_{12}$ ) 也有类似规律; 游离态胡敏酸的  $\text{RF}_1$  值是高肥小于低肥, 而其  $\Delta\log K_1$  则多是高肥大于低肥, 说明高肥粉粒复合体中游离态胡敏酸的腐殖化度较低肥粉粒的低。细砂复合体 (表 6) 中, 游离态腐殖质含量 ( $a_1 + b_1$ ) 及其胡敏酸含量 ( $a_1$ )、 $\text{PQ}_1$ 、 $\Delta\log K_1$  与结合态腐殖质含量 ( $a_2 + b_2$ ) 及其胡敏酸含量 ( $a_2$ )、 $\text{PQ}_2$  以及  $\text{PQ}_{12}$  等指标, 基本上是高肥大于低肥,  $\text{RF}_1$  及  $\text{RF}_2$  则相反, 反映出高肥细砂复合体中胡敏酸的腐殖化度小于低肥细砂的。

综上各级复合体的资料表明, 耕作白浆土经培肥后, 各级复合体中的腐殖质组成

和性质也有与全土相似的变化规律，但这种变化主要在粉粒和细砂复合体中表现的最为明显。

### 2.3 不同肥力土壤及其各级复合体中胡敏酸的类型

Kumada 利用 RF- $\Delta\log K$  图将胡敏酸分为 A、B、 $R_p$  及 P 型。其中，A 型和 B 型是土壤中特有的暗色物质，相当于 Simon 的真正腐殖物质； $R_p$  型是腐殖化度处于初期阶段的未成熟胡敏酸，相当于 Kononova 的新生胡敏酸，是广泛存在于自然土壤的  $A_0$  层、泥炭及堆肥等有机残体中的腐殖物质<sup>[8, 16]</sup>。最近，筒木等又将  $R_p$  型胡敏酸细分为  $R_p(1)$  型（来源于耕作土壤的 A 层）及  $R_p(2)$  型（来源于森林土壤的  $A_0$  层）<sup>[11]</sup>；P 型胡敏酸暂时也可认为是土壤中固有的，其中完全无吸收带的称为  $P_0$  型，有特殊吸收的可细分为  $P_{\pm}$ — $P_{+++}$  若干亚型，后者则包含一定量的  $P_g$ （绿色部分）及  $P_b$ （褐色部分）组分<sup>[8]</sup>。据 Kumada 等的研究，胡敏酸的腐殖化过程是从  $R_p(2)$  向  $R_p(1)$  型转化，从  $R_p(1)$  型，经 B 或  $P_0$  最终向 A 型转化，腐殖化度是  $A > B > R_p$  型。

按 Kumada 的 RF- $\Delta\log K$  图，供试土壤及各级复合体中胡敏酸的类别见表 7。不同肥力的土壤来看，高肥土壤中游离态胡敏酸，除 4 号土样为 P 型外，其余均为 B

表 7 土壤及各级复合体中胡敏酸的类型

Table 7 Types of HA in soils and their different particle fractions

样品 Sample No.	肥力 水平 Fertility status	土壤 Soil	游离态 HA (0.1 mol/L NaOH 提取) Free HA			土壤 soil	结合态 HA (0.1 mol NaP <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 提取) Combined HA		
			<2	2—20	20—200		<2	2—20	20—200
			$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$		$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
1	高肥	B	A	B	$R_p$	A	P	A	A
2	高肥	B	A	B	$R_p$	A	A	A	A
3	低肥	A	A	A	B	A	A	A	A
4	高肥	P	A	P	$R_p$	A	A	A	A
5	低肥	A	A	B	$R_p$	A	A	A	A
6	高肥	B	A	P	$R_p$	A	A	A	B
7	高肥	B	A	P	$R_p$	A	A	A	A
8	低肥	A	A	B	$R_p$	A	A	A	A
9	高肥	B	A	$R_p$	P	A	P	A	A
10	低肥	B	A	P	B	A	P	A	A
11	高肥	B	A	P	B	A	A	A	P
12	低肥	A	A	P	B	A	A	A	B
13	高肥	B	A	B	$R_p$	A	A	A	A
14	低肥	B	A	B	B	A	A	A	A
15	高肥	B	B	$R_p$	$R_p$	A	A	A	A
16	低肥	B	A	B	$R_p$	A	A	A	A
平均值		B	A	B	$R_p$	A	A	A	A

型, 低肥土壤中多为 A 型或腐殖化度稍高的 B 型。结合态胡敏酸则无论高肥或低肥均为 A 型。

不同肥力土壤中同一粒径的复合体间比较可见, 粘粒复合体中的游离态及结合态胡敏酸, 无论是在高肥或低肥土壤中, 大都为 A 型。粉粒复合体的游离态胡敏酸, 在高肥土壤中为 B 型、P 型或  $R_p$  型, 低肥土壤中为 A 型、B 型或 P 型; 结合态胡敏酸无论在高肥与低肥土壤中均为 A 型。细砂复合体的游离态胡敏酸, 在高肥土壤中多为  $R_p$  型, 少数为 B 型或 P 型, 低肥土壤中则为腐殖化度相对较高的 B 型或  $R_p$  型; 结合态胡敏酸在高肥土壤中大多为 A 型, 少数为 B 型, 低肥土壤中除极个别为 P 型外, 其余均为 A 型。上述结果说明, 耕作白浆土经培肥后, 主要是粉粒及细砂复合体中游离态胡敏酸的腐殖化度发生了变化, 并且, 当量变达一定程度后可发生型变, 即从原来的型向着腐殖化度相对较低的类型发展。

#### 2.4 土壤及其各级复合体中腐殖质的平均组成及胡敏酸类型

为从总体上比较供试白浆土全土及其不同粒径复合体中腐殖质组成及胡敏酸类型的特征, 利用表 3—6 中的数据, 求出了全土及其各级复合体中腐殖质组成的算术平均值 (见表 8), 从中可归纳出如下几点规律。

(1) 游离态腐殖质含量 ( $a_1+b_1$ ) 及其胡敏酸含量 ( $a_1$ )、 $RF_1$  均随粒径的增大而减小, 而  $\Delta \log K_1$  则随粒径的增大而增大, 说明游离态胡敏酸的腐殖化度随粒径的增大而减小。 $PQ_1$  则是粉粒复合体中略高于粘粒和细砂复合体。这与 Kyuma 的报道相一致<sup>[17]</sup>。游离态腐殖质占腐殖质提取总量 ( $H_E$ ) 的百分数 [ $(a_1+b_1)/H_E \times 100\%$ ] 是粘粒中最高 (达 95%), 细砂次之 (72%); 粉粒中最小 (但也高达 70%), 全土的平均值为 66%。说明耕作白浆土及其各级复合体中腐殖质是以游离态为主。全土游离态腐殖质组

表 8 土壤与各级复合体中腐殖质的平均组成

Table 8 Mean composition of humus in soil and different particle fractions

样品 Sample No.	$H_T$	$H_E/H_T$ $\times 100(\%)$	$a_1$	$b_1$	$a_1+b_1$	$PQ_1$	$\Delta \log K_1$	$RF_1$	$a_2$
$<2 \mu m$	103.5	72	40.1	28.9	70.0	59	0.551	100	3.3
2—20 $\mu m$	48.5	58	12.7	7.8	20.5	62	0.667	49	5.8
20—200 $\mu m$	34.3	43	6.1	4.0	10.1	60	0.748	38	3.5
土壤	54.2	63	11.2	12.7	23.9	45	0.656	72	7.3

样品 Sample No.	$b_2$	$a_2+b_2$	$PQ_2$	$\Delta \log K_2$	$RF_2$	$PQ_{12}$	fHa	fFa	$\frac{a_1+b_1}{H_E} \times 100$
$<2 \mu m$	0.8	4.1	81	0.491	101	60	93	97	95
2—20 $\mu m$	1.7	7.5	79	0.474	151	67	64	81	70
20—200 $\mu m$	0.9	4.4	73	0.539	102	64	67	80	72
土壤	2.4	9.6	72	0.478	129	57	56	82	66

成的其它指标中,除  $PQ_1$  低于各级复合体的外,其它各指标的平均值均介于粘粒与细砂复合体之间。

(2) 结合态胡敏酸 ( $a_2$ )、富里酸 ( $b_2$ ) 和腐殖质总量 ( $a_2+b_2$ ) 以及  $RF_2$  是粉粒复合体中的最大,细砂复合体中次之,粘粒复合体中的最小。 $\Delta \log K_2$  则是粉粒复合体中最小,粘粒居中,细砂复合体中最大,说明粉粒复合体结合态胡敏酸的腐殖化度最高,粘粒及细砂复合体的次之。 $PQ_2$  是随着复合体粒径的增大而减小。全土的结合态腐殖质含量 ( $a_2+b_2$ ) 及其胡敏酸 ( $a_2$ ) 和富里酸 ( $b_2$ ) 含量明显高于各级复合体的。

(3) 腐殖质提取率 ( $H_E/H_T \times 100\%$ ) 随复合体粒径的增大而减小,Arshad 和 Lowe<sup>[3]</sup>、佐藤和山根<sup>[10]</sup> 也曾有过类似报道。 $fFa$  值也随粒径的增大而减小,但  $fHa$  值则是粉粒中最小 (64%),粘粒中最大 (93%),细砂居中 (67%)。 $PQ_{12}$  是粉粒中最高 (67%),细砂居中 (64%),粘粒中最低 (60%)。全土的  $PQ_{12}$ 、 $fHa$  及  $(a_1+b_1)/HE \times 100\%$  明显低于各级复合体的, $H_E/H_T$  与  $fFa$  则低于粘粒而高于粉粒和细砂复合体的。

(4) 按平均值 (表 8) 进行胡敏酸分类 (表 7) 表明,耕作白浆土的游离态胡敏酸为 B 型,结合态为 A 型。随复合体粒径的增大,游离态胡敏酸类型的变化序列为: A 型 (粘粒) - B 型 (粉粒) -  $R_p$  型 (细砂); 结合态胡敏酸在各级复合体中均为 A 型。

## 参 考 文 献

- 程励励、文启孝、吴顺龄、徐 宁, 1981: 植物材料的化学组成和腐解条件对新形成腐殖质的影响。土壤学报, 第 18 卷 4 期, 360—367 页。
- 傅积平, 1985: 土壤有机无机复合体分组。土壤胶体—土壤胶体研究法 (第二册; 熊毅等编著), 科学出版社, 第 42—44 页。
- 傅积平、张敬森, 1978: 绿肥对粘质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。
- 姜岩、窦森, 1987: 土壤施用有机物料后重组有机质变化规律的探讨, I、对有机无机复合及腐殖质结合形态的影响。土壤学报, 第 24 卷 2 期, 97—104 页。
- 律兆松、徐 琪, 1993: 中国白浆土研究, I、白浆土机械组成特点及元素地球化学分异特征。土壤学报, 第 30 卷 3 期, 274—287 页。
- 彭福泉, 1984: 腐殖酸的分组组成。土壤有机质研究法 (文启孝等编著), 农业出版社, 91—101 页。
- 赵兰坡, 1995: 日本关于土壤腐殖质化学研究的进展。土壤与植物营养研究新动态 (第三卷, 张福锁等主编), 中国农业出版社, 130—141 页。
- 熊田恭一, 1981: 土壤有機物の化学 第 2 版, 学会出版センター。
- 米林甲陽, 1976: 土壤中の有機・無機複合体に関する研究 京都府立大学学術報告 農学, 第 27 号, 121—171。
- 佐藤孜, 山根一郎 1972. 有機無機複合体の粒径分画法による分離, 土壤中の有機無機複合体の分離とその性状 (第 1 報), 土肥誌, 43: 41—45。
- 簡木深, 1980: 土壤腐植酸の化学研究. 土肥誌, 55: 199—200。
- Anderson, D. W., Paul, E. A. and St. Arnaud, R. J., 1974: Extraction and characterization of humus with reference to clay-associated humus. *Canad. J. Soil Sci.*, 54: 317—323.
- Arshad, M. A. and Lowe, L. E., 1966: Fractionation and characterization of naturally occurring organo-clay complexes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30(6): 731—735.
- Chichester, F. W., 1969: Nitrogen in soil organo-mineral sedimentation fractions. *Soil Sci.*, 107: 356—363.
- Edwards, A. P. and Bremner, J. M., 1967: Dispersion of soil particles by sonic vibration. *J. Soil Sci.*, 18: 47—63.

16. Kumada, K., Sato, O., Ohsumi, Y. and Ohta, s., 1967: Humus composition of mountain soil in central Japan with special reference to the distribution of P type humic acid. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 13: 151—158.
17. Kyuma, K., Hussain, A. and Kawaguchi, K., 1969: The nature of organic matter in soil organo-mineral complexes. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 13: 151—158.
18. Tsutsuki, K. and kuwatsuka, S., 1990: Characterization of soil organic matter in particle size fractions obtained from different types of soils. *Transaction of 14th ICSS Vol.V. Kyoto Japan.* 242—247.

## COMPOSITION AND TYPES OF HUMUS IN DIFFERENT PARTICLE FRACTIONS OF ARABLE ALBIC SOIL

Zhao Lanpo Ma Jing Yang Xueming and Sun Yanjun

(Jinlin Agricultural University, 130118)

### Summary

In this work, the characteristics of organic matter in different particle fractions of albic soil were studied by using Kumada's method. The results showed that the content of organic C in fertile soils and their particle fractions was higher than that in poor soil and it decreased with the increase of particle diameter. The decrement was smaller in fertile soil than that in poor soil. Soil organic matter and clay content affected the consistency between the storage curve of organic C and the content curve of particle fractions. Organic C storage of clay or fine sand particles in fertile soil was significantly higher than that in poor soil. The humus in soils and their particle fractions were mainly free form which can be extracted by 0.1 mol /L NaOH. Some indexes such as humic acid content and the PQ value of free form were higher in fertile soil than those in poor soil. But the degree of humification based on  $\Delta \log K$  and RF values was lower in fertile soil than that in poor soil. Those trends were much clear for silt and fine sand particles. With the increase of particle diameter, the contents of free humus and its humic acid tended to decline, but the  $PQ_1$  value was higher in silt particle than that in other particle fractions. The type of free humic acid changed with the increase of particle diameter in the order of A type (clay)  $\rightarrow$  B type (silt)  $\rightarrow$  Rp (fine sand). The content of combined humus which was extracted by 0.1 mol /L  $Na_4P_2O_7$  and its humic acid content and the degree the humification were the highest in the silt particle, but  $PQ_2$  decreased with the increase of particle diameter. Both in fertile soil and in poor soil, combined humic acid mainly belonged to A type in which the degree of humification was higher, only a few belonged to B type or P type.

**Key words** Arable albic soil, Different particle fractions, Composition of humus, Types of humic acid