

我国几种土壤中腐殖质性质的研究

彭福泉 高坤林 车玉萍

摘 要

研究了儿种土壤腐殖酸的基本性质,其中包括土壤的腐殖质组成,胡敏酸以及富里酸的元素组成,含氧官能团含量,光密度值与芳化度等,计算了 E_4 与 E_4/E_6 比值与上述性质的相关系数。结果表明土壤腐殖质组成和性质与其形成条件有着密切的联系,并且有一定的地带规律性。水稻土中有机质含量增加,HA/FA 比值变高,其活性 HA 显著降低,说明水稻土有利于有机质的积累并改变了腐殖质的组成。 E_4 、 E_4/E_6 比值与元素组成,C/H 比值,含氧官能团及芳化度之间的相关系数表明 E_4 除了与 C%, O%, 酚羟基-O%, 酮基-O% 呈极显著或显著相关外,还与 C/H 比值及芳化度呈极显著相关,因此 E_4 值可作为腐殖物质芳化度的一个指标。

土壤腐殖质是土壤的重要组成部分,它的组成和性质在很大程度上反映了土壤的形成条件。有机质的含量、组成及其性质在不同的土壤中有着很大的差别。人为耕作措施对水稻土腐殖质的状况又有着一定的影响。土壤的性状及其肥力不仅在一定程度上决定于土壤有机质的含量,而且与其质量有关。土壤有机质的性质的不同,除了影响土壤养分,特别是氮素的供应状况以外,还对土壤的结构、微生物的活动等产生影响,因此,土壤腐殖质不仅是评价土壤肥力的重要因素之一,并将为深入了解土壤特性以及成土过程,从而为土壤分类提供科学依据。

本文就我国几种土壤中腐殖质的组成和性质及其与成土条件之间的关系和儿种水稻土腐殖质在组成及性质上的变异进行了研究。

一、供试土壤和试验方法

1. 供试土壤: 供腐殖质组成研究的土样有黑土、黄棕壤、红壤及其同一地带的水稻土和旱地土壤。各土样的采集地点见表1。供腐殖酸性性质研究的样品除表1中的部分土样外,还包括江苏省吴县等地的水稻土。所有土样均采自表土层。

2. 试验方法: 胡敏酸和富里酸的提取和分离方法按科诺诺娃 M. M. 法^[1]进行。土壤经 0.05N HCl 溶液处理后,用 0.1N NaOH 溶液在室温下浸提,分离得到的碱性提取液用 6N HCl 溶液调节 pH = 1 以沉淀出胡敏酸。为了降低胡敏酸的灰分含量,将胡敏酸絮状沉淀再溶解于适量的 0.1N NaOH 溶液中,用巴氏滤烛过滤除去无机胶体,经反复沉淀、溶解两次后的胡敏酸再进行透析或电析并减压低温(45—50℃)干燥。富里酸的制备有两种方法:(1)按简化的 Forsyth 法^[2]: 将分离胡敏酸后的酸性溶液通过活性炭层,被吸附的物质用 0.2N NaOH 溶液淋洗至近于无色。淋洗液经过 H 式 732 型离子交换树脂处理后,低温浓缩干燥。(2)按 Kobo 法^[3]: 将去除胡敏酸后的酸性溶液调节至 pH = 4.8 使富里酸沉淀析出,将此沉淀溶解于少量稀 NaOH 溶液,用酸调节 pH 约为 6 后进行透析、电析,最后减压低温干燥。

元素组成用干烧法测定。总酸度和羧基含量分别用氢氧化钡法和醋酸钙法^[4]; 酚羟基为总酸度与羧基含量的差值。总羟基采用乙酰化法^[5]; 醇羟基系总羟基减去酚羟基的差值; 羰基含量用盐酸羟胺

法^[14]; 酰基含量为碱性条件下 SnCl_2 还原法^[11]; 甲氧基含量系 Zeisel 法。E₄/E₆ 比值中的 E₄ 和 E₆ 分别为波长 465m μ 和 665m μ 处的消光系数值, 测定溶液的含碳浓度为 0.136 克/升。腐殖质组成采用科诺诺娃 M. M. 修改的丘林法^[14]。

二、结果与讨论

(一) 各土壤带土壤腐殖质组成、光学特性以及水稻土腐殖质性质的变异

由表 1 可见, 各土壤带荒地之间, 土壤腐殖质的组成互不相同。黑土不但有机质含量较高, 且其腐殖质中以胡敏酸为主, 胡敏酸/富里酸比值在 2.0 以上, 活性胡敏酸为 35.8%。黄棕壤荒地土壤胡敏酸/富里酸比值为 0.72, 活性胡敏酸占 58.6%。愈往南, 胡敏酸/富里

表 1 土壤腐殖质组成
Table 1 Composition of humus of soils

土壤类型 Soil type	采集地点 Sampling locality	利用方式 Utilization method	C %	胡敏酸 HA	富里酸 FA	胡敏酸 富里酸 HA/FA	活性胡敏酸 (占胡敏酸总量%) Active HA (% in total HA)
				(占全碳%) (% in total C)			
黑 土 Black soil	黑龙江嫩江	荒地	4.20	40.6	18.7	2.17	35.8
暗棕壤 Dark brown earth	吉林延吉	旱地	1.52	38.0	14.6	2.60	21.8
		水田	1.76	34.0	10.5	3.24	24.7
黄棕壤 Yellow-brown earth	江苏南京	荒地	1.49	19.1	26.4	0.72	58.6
		旱地	0.98	23.8	23.1	1.03	45.5
		水田	1.78	23.6	15.9	1.48	27.2
红 壤 Red earth	江西进贤	荒地	1.46	8.5	31.9	0.27	87.1
		水田	2.42	23.7	21.8	1.08	29.5
	云南昆明	荒地	2.75	6.4	27.2	0.26	82.8
		旱地	1.58	4.0	29.8	0.13	75.0
水田	2.63	24.0	13.9	1.73	59.2		
赤红壤 Lateritic red earth	广东广州	荒地	2.27	17.1	32.2	0.53	77.7
		水田	1.29	17.7	20.5	0.86	36.6
砖红壤 Laterite	广东徐闻	荒地	2.04	5.4	34.7	0.16	83.7
		广东雷南	水田	2.25	16.7	17.7	0.94

酸比值愈小, 红壤及砖红壤荒地土壤的胡敏酸/富里酸比值最低(0.16—0.53), 同时活性胡敏酸增多, 其量高达 77.7—87.1%。丘林在解释土壤腐殖质组成时, 除了与土壤形成的自然条件联系在一起以外, 还特别强调腐殖物质与土壤矿质部分的结合形式, 他认为活性腐殖质是以游离态或以与土壤矿质部分的活性 R_2O_3 结合态存在, 其余的腐殖质则是与钙或稳定 R_2O_3 结合的^[6]。上述结果表明, 黑土腐殖质是以与钙或稳定 R_2O_3 结合为主, 红壤及砖红壤腐殖质则主要是游离态或与活性 R_2O_3 结合。关于腐殖物质的分子量, 虽然各种方法的测定值差异极为悬殊, 但是, 从一些结果来看, 胡敏酸的分子量一般大于富里酸^[15], 因此, 胡敏酸/富里酸比值逐渐变小, 活性胡敏酸增加可以解释为土壤腐殖质物质

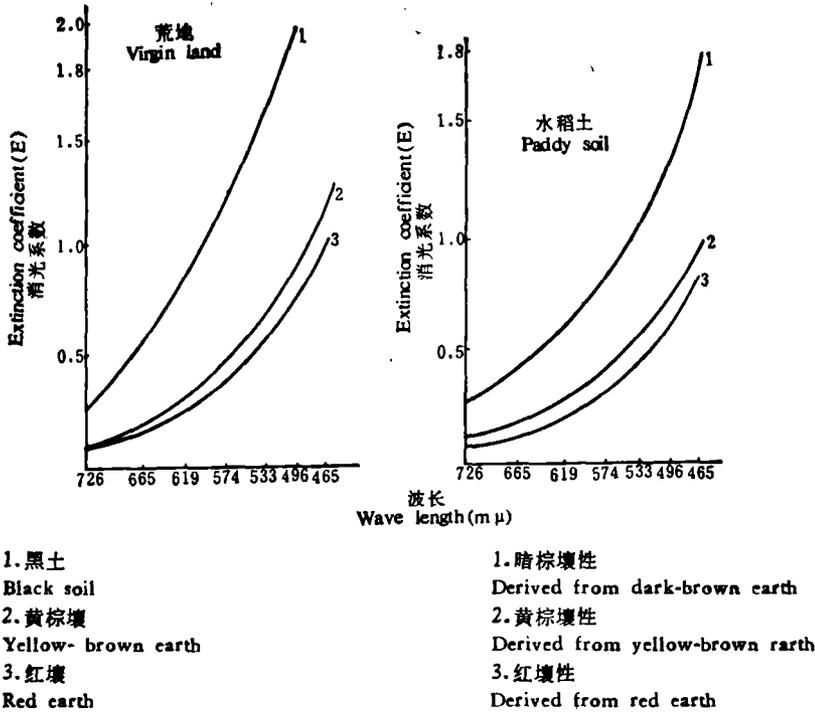


图 1 不同土壤带荒地和水稻土胡敏酸的光密度

Fig. 1 Optical densities of humic acid in virgin land and paddy soils from different zones

体系依黑土到红壤而渐趋简单化。

胡敏酸的光学特性是判断土壤腐殖质性质的重要依据。已经知道，腐殖物质的颜色是由各种发色官能团所引起，例如不饱和键、羰基和醌基等，胡敏酸的光密度值在一定程度上可以反映分子的复杂程度，胡敏酸的光密度愈大则分子的复杂程度愈高，芳香核原子团多，缩合度较高；相反，较为简单的胡敏酸则芳香性小，脂肪侧键多，其光密度也较小。由图 1 可见，各土壤带荒地土壤胡敏酸的光密度值由北往南顺序减小，说明供试土壤胡敏酸依此序列渐趋简单。

腐殖质组成及胡敏酸光学性质与其形成条件有着极为密切的关系^[2,4,6,12]。耕作对腐殖质组成具有不同程度的影响，总的来说，旱作影响较小，水稻耕作影响较为突出，但其腐殖质组成及其光学性质仍反映出明显的地带性特征。胡敏酸/富里酸比值由北往南减小，活性胡敏酸比重增加，其光密度值总的趋势也是减小的(图 1)。值得注意的是在同一地带内，由于水旱利用方式的不同，导致土壤有机质含量及组成差异，在水耕植稻条件下，总碳含量增加，有利于有机质的积累；胡敏酸/富里酸比值大于荒地及早地，而活性胡敏酸的比例均显著降低。水稻土中有机质含量增加以及胡敏酸/富里酸比值较高，除了与水稻土有较为强烈的淋溶作用使一些简单的物质和移动性较强的富里酸淋移以外，可能还与水稻土较长时间的渍水所造成的还原条件有关。Mitsuchi^[12]在解释种植水稻对腐殖质形成的影响时，认为水田的嫌气条件使有机质的氧化分解受到限制。在渍水条件下，有机质的

矿化作用较弱;水耕植稻时,人为不断施入有机肥料,一方面使有机质总量增加,又将使腐殖质处于不断更新之中,据 Kobo 等^[5]研究腐殖化程度低的胡敏酸芳香性小,脂族侧键多。过多的水分将阻碍缩合作用的进一步进行,导致分子较小、腐殖化程度较低的腐殖物质形成和积累^[6]。

(二) 各土壤带土壤腐殖酸的元素组成、含氧官能团及其红外光谱

各土壤中胡敏酸的元素组成有较大的变化,从表 2 可以看出,胡敏酸的元素组成从黑土到红壤,其碳的百分数逐渐降低,氢的百分数则依次增加,氮含量看不出有何规律。C/H 比值常被当作腐殖物质分子缩合程度的一个重要指标,根据 C/H 比值,胡敏酸的缩合程度依黑土 (C/H 比值为 14.7)到红壤 (C/H 比值为 8.2—8.4) 顺序降低。胡敏酸和富里酸在元素组成上有很大的不同,前者的碳含量 (50.5—58.4%) 均较后者 (45.5—46.6%) 为高;相反,富里酸的氧含量 (42.4—47.0%) 高于胡敏酸 (33.9—38.2)。富里酸的氮含量有略低于胡敏酸的趋势,氢含量看不出什么规律。同一土壤中胡敏酸的 C/H 比值虽较富里酸略大,但整个来说,两者之间没有明显的差别。

水稻土胡敏酸的元素组成和 C/H 比值具有与荒地土壤同样的地带性变化趋势。暗棕壤带和红壤带水稻土胡敏酸的 C/H 比值较该地带荒地者有明显降低 (黄棕壤带的二者的 C/H 比值相近), C/H 比值降低说明水稻土胡敏酸的缩合程度较低,进一步证实

表 2 腐殖酸的元素组成

Table 2 Elementary composition of humic substances

土壤 Soil	地点 Sampling locality	C	H	N	O + S	C/H
		(%)				
胡敏酸 Humic acid						
黑土 Black soil	黑龙江嫩江	58.36	3.97	3.80	33.87	14.7
黄棕壤 Yellow-brown earth	江苏南京	53.71	5.30	5.59	35.39	10.1
		53.67	5.09	5.73	35.51	10.5
		53.32	4.94	5.50	36.24	10.8
红壤 Red earth	江西进贤	51.79	6.16	5.47	36.58	8.4
	广东广州	50.67	6.17	4.49	38.17	8.2
水稻土 Paddy soil	吉林延吉	57.97	4.25	3.52	34.29	13.6
	江苏吴县	56.70	5.42	4.63	33.25	10.5
	江苏南京	54.45	5.41	5.50	34.64	10.1
	江西进贤	51.14	6.52	5.00	37.37	7.8
	广东广州	50.52	6.98	4.28	38.22	7.2
富里酸 Fulvic acid						
黑土 Black soil	黑龙江嫩江	50.61	3.96	3.30	42.13	12.8
红壤 Red earth	江西进贤	45.80	5.59	1.60	47.01	8.2
	广东广州	46.59	5.82	2.38	45.21	8.0

表 3 腐殖酸中主要的含氧官能团含量(毫克当量/克)
Table 3 Oxygen-containing functional groups in humic substances (meq/g)

土壤 Soil	地点 Locality	羧基 COOH	酚羟基 Phenolic OH	醇羟基 Alcoholic OH	醌基 Quinoid C=O	酮基 Ketonic C=O	甲氧基 OCH ₃	E ₄	E ₂ /E ₄
胡敏酸 Humic acid									
黑土 Black soil	黑龙江嫩江	4.38	3.87	3.06	1.53	1.18	0.95	2.36	3.69
黄棕壤 Yellow-brown earth	江苏南京	3.46	2.78	3.23	1.81	0.32	—	1.28	5.69
		3.41	2.85	3.24	1.17	1.01	0.32	1.20	6.00
		3.34	2.84	3.27	0.92	1.02	—	1.10	5.95
红壤 Red earth	江西进贤	3.55	2.31	4.26	1.03	0.90	—	0.92	7.90
	广东广州	4.02	2.84	4.21	1.05	0.99	0.34	1.05	6.73
水稻土 Paddy soil	吉林延吉	4.40	2.98	2.24	1.26	2.06	0.32	1.84	4.28
	江苏吴县	3.28	2.36	2.62	0.95	1.64	0.64	0.93	5.47
	江苏南京	3.06	2.29	3.33	1.02	1.19	—	0.96	4.80
	江西进贤	2.90	3.08	3.57	1.18	0.75	—	0.90	5.11
	广东广州	3.32	2.21	4.12	0.90	1.02	—	0.86	5.89
富里酸 Fulvic acid									
红壤 Red earth	江西进贤	8.25	2.08	5.81	0.58	2.54	—	0.35	10.29
	广东广州	8.46	2.57	5.15	0.54	1.13	0.39	0.48	10.97

水稻土胡敏酸趋向简单。

腐殖酸中主要的含氧官能团是羧基、酚羟基、醇羟基、羰基和甲氧基。土壤腐殖质的酸性和阳离子交换量主要是由于羧基和酚羟基中存在可解离的氢造成的。从表 3 可见,各土壤胡敏酸的含氧官能团含量看不出有何规律,但是,在胡敏酸含氧官能团中各含氧官能团的分布是不一样的,多数情况下,羧基含量大于酚羟基含量;羧基与酚羟基之比约为 1—1.5。红壤富里酸的含氧官能团的含量与胡敏酸有明显的差别,其羧基含量显著高于胡敏酸,富里酸中羧基与酚羟基含量的比值上升至 3 以上,这说明红壤富里酸有着较高的代换量和移动性。同时,红壤富里酸含有较多的醇羟基,酮基含量却很低。

同一地带中水稻土胡敏酸的羧基和酚羟基含量总是低于荒地胡敏酸的该数值。一般认为土壤腐殖化过程是一个氧化过程,胡敏酸羧基含量将随着腐殖化程度的增加而升高^[25]。水稻土胡敏酸羧基含量降低表明与同一地带荒地土壤相比其胡敏酸处于较低级的腐殖化阶段上,这与上述水稻土胡敏酸结构简单的看法也是完全符合的。

表 4 是元素组成和官能团含量计算出的主要含氧官能团中氧的分布。由表 4 可见,腐殖质中氧的大部分是以含氧官能团的形式存在,官能团氧占胡敏酸总氧含量的 69.3—91.9%,占富里酸总氧含量的 90—95%,其中羧基氧占 50% 以上。

各土壤腐殖酸的红外光谱的主要吸收带为 2900cm^{-1} (脂肪族 C—H), 1720cm^{-1} (COOH 中的 C=O), 1640cm^{-1} (芳香族 C=C 或 COO⁻)。在富里酸的吸收光谱中, 1720cm^{-1} 处吸收带很强,但胡敏酸仅有一个肩,表明富里酸比胡敏酸含有更多的羧基,这与官能团的测定结果相一致。供试各土壤腐殖酸的红外吸收带很相似,说明它们具有相类似的化学性质,但在官能团的含量上有差别。

(三) 腐殖酸的芳构化程度

虽然上述元素组成、C/H 比值和光密度值等的资料都表明腐殖物质缩合程度的变异,但这仅是一个相对的概念,为了进一步了解各腐殖质的缩合度,对几种胡敏酸的芳构化程度进行了研究。

KMnO₄ 氧化法是结构研究中常用的一种深度氧化降解方法。腐殖酸经过氧化,脂族侧键全部被氧化分解,生成 CO₂ 和脂肪酸,因此,根据降解溶液中的化学分析(挥发性脂肪酸以醋酸计,非挥发性脂肪酸以草酸计)可以近似地计算腐殖酸碳的芳构化程度。Kumada^[26] 曾采用这一方法研究了土壤腐殖酸的芳化度。试验是在弱碱性条件下通过滴加 KMnO₄ 溶液,使反应在较温和的条件下进行。由表 5 可见,黑土和红壤胡敏酸碳的芳化度分别为 52.4% 和 49.5%。相应地带水稻土胡敏酸碳的芳化度为 47.0% 和 35.8%,与荒地胡敏酸碳芳化度相比,这两个带水稻土胡敏酸碳的芳化度降低。

¹³C 核磁共振波谱是研究土壤腐殖酸碳的芳构化程度的又一途径^[8]。利用¹³C 核磁共振研究了黄棕壤及其水稻土甲基化胡敏酸碳的芳化度。由表 6 可见,上述两个土壤胡敏酸碳的芳化度分别为 51.1% 及 50.6%。Hatcher 等^[8]最近根据高分辨力的¹³C 核磁共振技术,研究的胡敏酸和富里酸碳的芳化度为 43—54%。

表 5 胡敏酸的 KMnO_4 降解Table 5 Degradation of humic acid by KMnO_4

土壤 Soil	地点 Locality	CO_2	CH_3COOH	$(\text{COOH})_2$	脂族-C Aliphatic-C	芳化度 (%) Aromaticity
		占全碳% % in total C				
黑土 Black soil	黑龙江嫩江	33.9	1.6	12.1	47.6	52.4
黄棕壤 Yellow-brown earth	江苏南京	40.2	2.3	16.6	59.1	40.9
		39.0	3.4	16.8	59.2	40.8
		37.0	2.7	17.9	57.6	42.4
红壤 Red earth	广东广州	33.7	1.8	15.0	50.5	49.5
水稻土 Paddy soil	吉林延吉	36.1	1.3	15.6	53.0	47.0
	江苏南京	39.3	2.9	16.7	57.9	42.1
	江苏吴县	37.3	1.8	16.8	57.9	42.1
	江苏武进	37.9	1.4	17.3	56.6	43.4
	江苏常熟	41.6	1.2	17.4	60.0	40.0
	广东广州	46.1	1.8	16.5	64.4	35.8

表 6 甲基化胡敏酸中各类碳的相对含量 (C%)

Table 6 Relative content of carbon in methylated humic acid (C%)

积分范围 Integration region (ppm)	醌碳 Quinoid C	$\text{ArC} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OR} \end{array}$	芳族碳 Aromatic C	脂族连氧碳 O-linking aliphatic C	甲氧基 $\text{OCH}_3\text{-C}$	脂族碳 Aliphatic C	芳化度 (%) Aromaticity
土壤 Soil	174—183	160—174	105—160	60—94	48—60	10—48	
黄棕壤 Yellow-brown earth	4.46	9.84	32.14	10.18	9.82	20.54	51.1
水稻土 Paddy soil	3.37	9.36	32.64	10.18	11.10	21.65	50.6

表 7 腐殖酸的 E_4 、 E_4/E_6 比值与元素组成、功能团和芳化度之间的相关系数 ($n = 13$)Table 7 Correlation coefficient (r value) for E_4 、 E_4/E_6 ratio and elementary composition functional group and aromaticity of humic substances ($n = 13$)

因子 Factor	E_4	E_4/E_6	因子 Factor	E_4	E_4/E_6
C%	0.8421***	-0.8787***	羧基-O% Carboxyl-O%	-0.1272	0.6474*
H%	-0.7251**	0.3858	酚羟基-O% Phenolic OH-O%	0.9025***	-0.7965
O%	-0.6942**	0.9055***	醇羟基-O% Alcoholic OH-O%	-0.5196	0.7032**
C/H	0.8844***	-0.6199*	羰基-O% Carbonyl-O%	0.6441*	-0.5170
芳化度 Aromaticity	0.7348**	-0.4265	醌基-O% Quinoid-O%	0.7881**	-0.7792**

* $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$.

(四) E_4 、 E_4/E_6 比值与元素组成、C/H 比值、含氧官能团和芳化度之间的相关性

科诺诺娃 M. M.^[6] 曾经认为 E_4/E_6 比值与芳化度有关; Chen 等^[7] 研究了不同土壤腐殖酸的光学性质, 认为 E_4/E_6 比值是各种因素的综合影响, 但与芳构化程度无关。腐殖物质的光密度值的变化在光波较短的波段内的差别特别显著, λ_{465} 处的吸收是芳核 C=C 双键和官能团中不成对 π 电子跃迁的反映, 因此, 有些研究者选择 E_4 值作为表征腐殖物质的结构特征^[8]。本研究中我们计算了 E_4 、 E_4/E_6 比值与元素组成、C/H 比值、含氧官能团和芳化度之间的相关系数。由表 7 可见, E_4 和 E_4/E_6 比值都与 C%, O% 呈极显著相关或显著相关。以 E_4 和 E_4/E_6 比值与各种含氧官能团所占氧的百分数剖析各别官能团所起的作用看, E_4 与酚羟基-O% 呈极显著相关, 与酮基-O% 呈显著相关。 E_4/E_6 比值除了与上述两种氧呈显著相关外, 还与醇羟基-O% 呈显著相关。特别是 E_4 值与 C/H 比值呈极显著相关, 与芳化度呈显著相关; 而 E_4/E_6 比值与这些因子的相关性都不显著, 与芳化度无关。这就为 E_4 可作为表征腐殖物质芳化度的一个指标提供了更为直接的依据。但是, E_4 及 E_4/E_6 比值都与 C%、O%、酚羟基-O% 和酮基-O% 呈显著相关, 因此, 两者均可作为腐殖物质复杂程度和发色官能团含量的相对量度。

三、小 结

1. 土壤腐殖质的组成和性质与其形成条件有着极密切的联系, 并具有地带规律性, 它是各种成土因素的综合反映。各土壤带荒地土壤腐殖质的组成互不相同, 黑土不但有机质含量较高, 且其腐殖质中以胡敏酸为主, 活性胡敏酸占胡敏酸总量的 35.8%; 由北往南, 胡敏酸/富里酸比值逐渐降低, 红壤及砖红壤荒地中的胡敏酸/富里酸比值最低, 同时活性胡敏酸增多。供试土壤中, 从黑土到红壤, 胡敏酸的光密度值顺序变小; 胡敏酸的元素组成、C/H 比值以及芳化度亦呈现出规律性变化。富里酸的元素组成与胡敏酸有很大不同。各含氧官能团中, 多数情况下羧基含量大于酚羟基含量, 胡敏酸中羧基与酚羟基含量的比值为 1—1.5, 富里酸中羧基与酚羟基的比值在 3 以上, 官能团氧占胡敏酸总氧含量的 69.3—91.9%, 富里酸中 90—95% 的氧存在于官能团中, 其中羧基氧占 50% 以上。高锰酸钾氧化降解所得胡敏酸碳的芳化度为 35.8—52.4%, 部分样品¹³C 核磁共振波谱的芳化度在 50% 左右。根据上述诸项结果可以认为供试土壤腐殖质体系由北往南趋于简单化。

水稻土与同一地带荒地和旱地比较, 有机质含量增加, 胡敏酸/富里酸比值变高, 而活性胡敏酸比例均显著降低, 说明在水耕植稻条件下, 有利于有机质的积累并改变了腐殖质的组成。但是, 在水田的嫌气条件下有机质的分解和缩合受到限制, 导致分子较小、腐殖化程度较低的腐殖物质形成和积累。

根据工作结果, 计算了 E_4 、 E_4/E_6 比值与元素组成、C/H 比值、含氧官能团及芳化度之间的相关系数, 表明 E_4 除了与 C%、O%、酚羟基-O%、酮基-O% 呈极显著或显著相关外, 还与 C/H 比值及芳化度呈极显著相关, 而 E_4/E_6 比值与后两项因子的相关性均不显著。因此, 本结果为 E_4 作为表征腐殖物质芳化度的一个指标提供了更为直接的依

据。 E_4/E_6 比值与芳化度无关，但 E_4 和 E_4/E_6 比值均可作为腐殖物质复杂程度和发色官能团含量的相对量度。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 中国土壤。科学出版社。
- [2] 林明海、赖庆旺, 1982: 不同熟化度红壤及红壤性水稻土的腐殖质组成及其特性。土壤学报, 第 19 卷 3 期, 237—247 页。
- [3] 陆长青、朱熹婉, 1982: 腐殖酸的数均分子量测定。土壤学报, 第 19 卷 2 期, 196—201 页。
- [4] 彭福泉、吴介华, 1965: 水稻土的腐殖质组成。土壤学报, 第 13 卷 2 期, 208—215 页。
- [5] Kobo, K. 等(何群摘译), 1980: 日本关于腐殖质粘土复合体的一些研究。土壤学进展, 第 1 期, 38—43 页。
- [6] 科诺诺娃, M. M. (周礼恺译), 1966: 土壤有机质。科学出版社。
- [7] Chen, Y., Senesi, N. and Schnitzer, M., 1977: Information provided on humic substances by E_4/E_6 ratio. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 352—358.
- [8] Hatcher, P. C., Schnitzer, M., Dennis, E. W. and Maciel, C. E., 1981: Aromaticity of humic substances in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 1089—1094.
- [9] Kobo, K. and Tatsukwa, R., 1959: On the colored material of fulvic acid. Z. Pflernahr. Dung. Bodenk. 84: 137—147.
- [10] Kumada, K. and Matsui, Y., 1970: Studies on the composition of aromatic nuclei of humus. Part I. Detection of some condensed aromatic nuclei of humic acid. Soil Sci. Plant Nutr. 16: 250—255.
- [11] Mathur, S. P. and Schnitzer, M., 1972: The determination of quinone groups in humic substances. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 772—777.
- [12] Mitsuchi, M., 1974: Characters of humus formed under rice cultivation. Soil Sci. Plant Nutr. 20: 249—259.
- [13] Schnitzer, M., 1962: Molecular and equivalent weight of the organic matter of a podzol. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 362—365.
- [14] Schnitzer, M. and Khan, S. U., 1972: Humic Substances in the environment. Marcel Dekker, New York.
- [15] Tsutsuka, K. and Kuwatsuta, S., 1978: Chemical studies on soil humic acids: 2. Composition oxygen-containing functional groups of humic acids Soil Sci. Plant Nutr. 24: 547—560.

STUDY ON PROPERTIES OF SOME SOIL HUMUS IN CHINA

Peng Fuquan, Kao Kunlin and Che Yuping

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

The results of this study indicated that the composition and properties of soil humus were closely related to their formation conditions, and had zonal regularities.

Data obtained showed that the composition of soil humus in virgin soils varied with different soil zones. For geographical distribution from black soil to red earth, the optical density elementary composition, C/H ratio and aromaticity of humic acids in the soils all had certain zonal regularities. According to the results mentioned above, the soil humus substances appear to tend to be simple from the north to the south.

As compared with the virgin and dry farming soils, paddy soil had a higher content of organic matter and HA/FA ratio, but a lower content of active humic acid. It indicates that the hydrothermal conditions under rice planting are favourable for the accumulation of organic matter, and change the composition of soil humus. However, the anaerobic condition of paddy soil is a factor inhibiting the decomposition and condensation of organic matter in soil, which results in the formation of humic substances with smaller molecule and low-degree of humification.

Calculation of the correlation coefficients between E_4 , E_4/E_6 ratio and elementary composition, C/H ratio, oxygen-containing functional groups and aromaticity show that E_4 value is not only significantly correlated with C%, O%, phenolic-OH-O%, quinone-O%, but also with C/H ratio and aromaticity. It is also indicated from these results that E_4 value might be regarded as an index of aromaticity of humic acids.