

滨海水稻土腐殖质的组成及随种稻时间演变的研究初报*

古小治^{1,2} 章钢娅^{1†} 俞元春² 曹志洪¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037)

摘 要 通过研究滨海水稻土腐殖质各成分的组成及性质, 结果表明各组分有机碳及氮含量均为表层最高, C/N 在结构相对稳定的结合态腐殖质和胡敏酸 (HA) 中波动较小, 而在游离态腐殖质和富里酸 (FA) 中变化较大。随着种稻时间变长, 结合态的腐殖质和胡敏酸有在土壤中积累的趋势, 在 1 000 a 水稻土中腐殖质的芳香化程度最高、结构最复杂。

关键词 滨海水稻土; 腐殖质; 数量特征; 结构特征

中图分类号 Q143; S153.6 **文献标识码** A

腐殖质对水稻土物理、化学性质, 尤其是氮素供应方面起到重要的作用。在水稻土发生分类和土壤肥力研究中, 关于水稻土腐殖质的组成和性质, 以及腐殖化和矿质化受到人们很大的关注^[1-6]。然而有关中国滨海水稻土的腐殖质组成及性质的研究较少, 由于其形成的母质、气候条件、栽培耕作方式、时间等不同, 其腐殖质组成的组分状况、腐殖化度等方面均存在着差异。

对土壤腐殖质的组成成分及性质, 国内外学者作了较为广泛而深入的研究, 并提出了许多提取分离分析方法。国内学者多采用丘林法或科诺诺娃法对土壤进行研究。近年来日本学者对土壤腐殖质的研究日益广泛和深入, 并提出了研究腐殖质本质的有效方法——熊田法^[7]。本文采用此法对发育于我国长江中下游地区的滨海水稻土腐殖质的组成及性质方面进行了较为深入地研究。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

供试的样品采自浙江省慈溪市, 分别以该地区 100 a、500 a、1 000 a 三种水稻土 (其年代根据出土文物鉴定) 为研究对象进行采样。100 a 水稻田为

渗育型水稻土, 该剖面分 0~15 cm、15~20 cm、20~63 cm、63~100 cm 四个层取样, 剖面土壤的颜色按照由黑棕—灰黄棕—暗棕—棕的逐渐变浅。而 500 a 水田按 0~15 cm、15~19 cm、19~39 cm、39~88 cm、88~100 cm 五个层次进行取样, 各层颜色呈现出暗棕—浊黄棕—灰黄棕—浊黄棕的变化, 在 19~88 cm 发现有小锰斑。1 000 a 的水稻田按 0~18 cm、18~26 cm、26~41 cm、41~82 cm、82~100 cm 五个层次来取样, 各层的颜色由灰黄棕—棕灰—暗棕灰—灰橄榄—蓝黑逐渐地加深, 并在 26~41 cm 处发现有胶膜, 而在剖面的最低部发现炭柱。

1.2 分析方法

采集土样, 风干、磨碎后过 60 目筛后作为分析样品。称取已挑去根根并磨细的风干土样 5.000 0 g (取样量中的碳含量要低于 100 mg)。将土样移入 50 ml 离心管中, 加入 30 ml 0.1 mol L⁻¹ NaOH 溶液后, 放在水温调至 50 的水锅里加热 1 h, 每隔 10 min 用玻璃棒摇匀。加热完毕加入 2 ml Na₂SO₄ 饱和溶液。冷却后用高速离心机 (8 000 r min⁻¹) 离心 5 min, 获得提取液, 重复以上步骤至提取液变为淡黄色为止。用这种方法获得的提取成份为游离态腐殖质 (称为 组)。用 0.1 mol L⁻¹ NaOH 获

* 国家自然科学基金项目“水稻土可持续利用机理研究—5000 年前埋藏古水稻土与现代水稻土质量的比较”(No. D0115 - 40335047, 40401002, 40572178) 和中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KSCX2 - YW - N - 038) 资助

† 通讯作者, Tel: 025-86881165; E-mail: gyzhang@issas.ac.cn

作者简介: 古小治 (1979 -), 男, 汉族, 河南义马人, 博士研究生, 从事土壤化学与环境化学方面的研究。E-mail: guxiaozhi@163.com

收稿日期: 2007 - 01 - 14; 收到修改稿日期: 2007 - 04 - 03

得提取液后向所剩渣中加入 30 ml 0.1 mol L⁻¹ Na₄P₂O₇ 溶液,放在水温调至 50 的水锅里加热 1 h,冷却后将提取液用高速离心机离心 1 h,所获得的提取液为结合态腐殖质(称为 组)。未被两种溶液提取的组分为非可溶性的腐殖质。

用分光光度计测定 465 nm 和 600 nm 的吸光度来确定游离态胡敏酸和结合态胡敏酸的腐殖化度。

$$RF = \text{比色液的 } k_{600} \times 1000 / c$$

其中, c 为每 30 ml 测定消光系数用的 HA 溶液消耗 0.02 mol L⁻¹ KMnO₄ 的毫升数。

土壤有机碳和全氮用常规法测定。

2 结果与讨论

2.1 不同年代滨海水稻土腐殖质的组成

按照熊田恭一的连续加热提取法分析滨海水稻土腐殖质组成,将其分为可溶性与非可溶性腐殖

质,为了考察其可溶性腐殖质与无机物的结合状况,进一步将其划分为游离态和结合态。具体测定结果见表 1 和表 2。

从表 1 可明显看出,三种滨海水稻土可溶性腐殖质的含量均高于非可溶性腐殖质含量。并且形成的年代越长,可溶性腐殖质与非可溶性腐殖质的比值就越大,在 1 000 a 的水稻土亚表层(18 ~ 26 cm)可溶性组分占的比例急剧上升高达 91%。另外从有机碳的纵向分布来看,三种滨海水稻土总有机碳含量各表层均高于底层,可溶性腐殖质也呈现出相似的趋势。对可溶性组分进一步分析发现,100 a 水田、500 a 水田、1 000 a 水田中游离态腐殖质有机碳在 0 ~ 18 cm 的表层土壤中含量均高于结合态;并且随着剖面层次的加深,游离态腐殖质中有机碳含量在可溶性腐殖质中有机碳含量的比例以及在总有机碳含量中的比例均略有不同程度的下降,但 C/N 总体上在增大峰值达到 26.36,出现在 1 000 a 水田的最底层。

表 1 不同类型滨海水稻土腐殖质组成
Table 1 Composition of humus in coastal paddy soils

土壤类型 Soil type	深度 Depth (cm)	有机碳 Organic C (g kg ⁻¹)	可溶性腐殖质 ¹⁾		非可溶态腐殖质 ²⁾		可溶性 / 非可溶态 Dissolvable / Non-dissolvable humus ratio
			Dissolvable humus		Non-dissolvable humus		
			有机碳 Organic C (g kg ⁻¹)	占全碳比率 Percentage (%)	有机碳 Organic C (g kg ⁻¹)	占全碳比率 Percentage (%)	
100 a 水田	0 ~ 15	13.72	8.49	62	5.23	38	1.62
100-year old paddy soil	15 ~ 20	6.65	4.28	64	2.38	36	1.80
	20 ~ 63	7.72	4.00	52	3.72	48	1.07
	63 ~ 100	6.61	3.77	57	2.84	43	1.32
500 a 水田	0 ~ 15	9.32	8.28	89	1.04	11	7.93
500-year old paddy soil	15 ~ 19	12.38	7.73	62	4.66	38	1.66
	19 ~ 39	4.61	3.48	75	1.13	25	3.07
	39 ~ 88	4.52	2.98	66	1.54	34	1.94
	88 ~ 100	3.67	2.81	77	0.85	23	3.31
1000 a 水田	0 ~ 18	11.98	10.36	86	1.62	14	6.39
1000-year old paddy soil	18 ~ 26	5.87	5.32	91	0.55	09	9.71
	26 ~ 41	9.98	4.26	43	5.72	57	0.74
	41 ~ 82	5.26	3.27	62	1.99	38	1.64
	82 ~ 100	14.39	6.23	43	8.16	57	0.76

1) 0.1 mol L⁻¹ NaOH 溶液和 0.1 mol L⁻¹ Na₄P₂O₇ 溶液提取组分。Components that can be extracted with 0.1 mol L⁻¹ NaOH and 0.1 mol L⁻¹ Na₄P₂O₇ solution. 2) 未被两种溶液提取的组分。Residues from the extraction with 0.1 mol L⁻¹ NaOH and 0.1 mol L⁻¹ Na₄P₂O₇ solution

表 2 不同类型滨海水稻土可溶性腐殖质组成

Table 2 Composition of dissolvable humus in coastal paddy soils

土壤类型 Soil type	深度 Depth (cm)	游离态腐殖质 ¹⁾ Loosely bonded humus					结合态腐殖质 ²⁾ Tightly bonded humus					游离态/ 结合态 Loosely/ tightly bonded humus ratio
		C (g kg ⁻¹)	占可溶 性碳 Perce- tage (%)	占总 碳 Perce- tage (%)	N (g kg ⁻¹)	C/N	C (g kg ⁻¹)	占可溶 性碳 Percent- age (%)	占总 碳 (%)	N (g kg ⁻¹)	C/N	
100 a水田	0~15	4.81	56.67	35.07	0.50	9.69	3.68	43.33	26.82	0.30	12.35	1.31
100-year old paddy soil	15~20	1.43	33.33	21.43	0.23	6.33	2.85	66.67	42.86	0.25	11.40	0.50
	20~63	1.71	42.86	22.19	0.19	9.24	2.28	57.14	29.59	0.15	15.20	0.75
	63~100	1.53	40.74	23.21	0.15	10.45	2.23	59.26	33.77	0.20	11.12	0.69
500 a水田	0~15	4.57	55.17	48.99	0.20	22.80	3.71	44.83	39.81	0.24	15.44	1.23
500-year old paddy soil	15~19	3.79	49.09	30.63	0.30	12.83	3.93	50.91	31.77	0.25	15.96	0.96
	19~39	1.26	36.29	27.38	0.20	6.26	2.22	63.71	48.07	0.21	10.72	0.57
	39~88	0.99	33.33	22.00	0.18	5.39	1.99	66.67	44.01	0.15	13.30	0.50
	88~100	0.84	30.00	23.03	0.20	4.28	1.97	70.00	53.74	0.20	9.98	0.43
1000 a水田	0~18	6.95	67.12	58.04	0.40	17.46	3.41	32.88	28.43	0.20	17.10	2.04
1000-year old paddy soil	18~26	2.97	55.85	50.64	0.25	11.97	2.35	44.15	40.03	0.35	6.76	1.27
	26~41	1.70	40.00	17.07	0.26	6.45	2.55	60.00	25.60	0.34	7.54	0.67
	41~82	1.85	56.52	35.14	0.15	12.35	1.42	43.48	27.03	0.52	2.71	1.30
	82~100	5.30	46.00	36.85	0.20	26.36	6.23	54.02	43.32	1.00	6.26	0.85

1) 0.1 molL⁻¹ NaOH 溶液和 0.1 molL⁻¹ Na₄P₂O₇ 溶液提取组分。Components that can be extracted with 0.1 molL⁻¹ NaOH and 0.1 molL⁻¹ Na₄P₂O₇ solution. 2) 未被两种溶液提取的组分。Residues from the extraction with 0.1 molL⁻¹ NaOH and 0.1 molL⁻¹ Na₄P₂O₇ solution

结合态腐殖质有机碳含量占可溶性腐殖质中有机碳的比例和在总有机碳含量中的比例以及 C/N 则与游离态均呈现出相反的趋势。而且结合态腐殖质的 C/N 在整个剖面上波动较小,最大振幅为 10.84,这说明在结合态腐殖质在环境中更稳定。随种稻时间的增长,结合态腐殖质有机碳含量在可溶性腐殖质以及总有机碳中的比例略有增加,有利于有机质数量上的增加及品质的提高。

2.2 不同形态腐殖质的组成

对提取的游离态和结合态腐殖质成分进行分析,腐殖质各组分的绝对含量和相对含量见表 3 和表 4。

从表 3 可看出,从总体上看游离态腐殖质中富里酸含量高于胡敏酸。一般随着土层深度增加胡敏酸和富里酸均为表层(0~15 cm)最高,底层(63~100 cm)最低,但在 1000 a 滨海水稻土底层富里酸和胡敏酸有数值上有一个急增,这与全土总有机碳含量变化一致,可能与在该层发现炭柱有关;100 a 水田、500 a 水田、1000 a 水田游离态腐殖

质中胡敏酸有机碳绝对含量相差不大,但在占可溶性腐殖质有机碳中的比例以及在总有机碳中的比例随着成土时间的增长而增大,另外从相对色度(RF)数值也可以看出水稻土成土越久,其数值越高。这说明胡敏酸作为腐殖质中相对稳定的成分,在滨海水稻土中成土过程中有逐渐积累的趋势;而胡敏酸与富里酸相比,富里酸有机碳和氮含量明显高于胡敏酸,但 C/N 却低于胡敏酸。100 a 水田、500 a 水田、1000 a 水田富里酸的有机碳含量在可溶性腐殖质有机碳中的比例及总有机碳中所占比例也均有不同程度的提高。

据研究^[8~13],土壤腐殖质全量和腐殖化度随土壤熟化度提高而增加,高度熟化的水稻土 HA/FA 可达 1.4 左右,中度熟化者为 0.5 左右,初度熟化者为 0.2~0.3。100 a 水田结合态腐殖质的 HA/FA 比值在 0.6~0.9,富里酸含量高活性较强,腐殖质的芳香化程度低、结构简单、熟化程度相对较低;而 500 a 水田、1000 a 水田中其比值均在 1.4 以上,胡敏酸含量较高,富里酸进一步缩合转化为芳香化程度高、结构复杂的胡敏酸^[10]。

表 3 不同类型滨海水稻土游离态腐殖质组成

Table 3 Composition of loosely bonded humus in coastal paddy soils

土壤类型 Soil type	深度 Depth (cm)	胡敏酸 Humus acids					富里酸 Fulvic acids				
		C (g kg ⁻¹)	占可溶 性碳 Percent- tage (%)	占总 碳 Percent- tage (%)	N (g kg ⁻¹)	C/N	C (g kg ⁻¹)	占可溶 性碳 Percent- age (%)	占总 碳 Percentage (%)	N (g kg ⁻¹)	C/N
100 a水田	0~15	0.98	11.54	7.15	0.089	11.01	1.25	14.72	9.11	0.18	6.94
100-year old paddy soil	15~20	0.35	8.19	5.26	0.024	14.58	0.65	15.20	9.77	0.059	11.02
	20~63	0.29	7.26	3.76	0.012	24.17	0.54	13.51	7.00	0.046	11.74
	63~100	0.25	6.64	3.78	0.009	27.78	0.62	16.46	9.38	0.026	23.85
500 a水田	0~15	0.97	11.72	10.41	0.094	10.32	2.03	24.53	21.78	0.13	15.62
500-year old paddy soil	15~19	0.78	10.09	6.30	0.085	9.18	0.98	12.68	7.91	0.32	3.06
	19~39	0.56	16.10	12.14	0.087	6.44	0.86	24.72	18.65	0.21	4.10
	39~88	0.42	14.08	9.29	0.028	15.00	0.88	29.49	19.47	0.69	1.28
	88~100	0.19	6.75	5.18	0.036	5.28	0.91	32.34	24.83	0.098	9.29
1000 a水田	0~18	1.25	12.07	10.43	0.084	14.88	1.98	19.12	16.53	0.21	9.43
1000-year old paddy soil	18~26	0.72	13.53	12.27	0.045	16.00	1.36	25.56	23.18	0.11	12.36
	26~41	0.62	14.57	6.22	0.089	6.97	0.99	23.26	9.92	0.1	9.90
	41~82	0.48	14.67	9.12	0.026	18.46	0.89	27.19	16.91	0.095	9.37
	82~100	2.03	17.59	14.11	0.082	24.76	3.02	26.17	20.99	0.18	16.78

表 4 不同类型滨海水稻土结合态腐殖质的组成

Table 4 Composition of tightly bonded humus in coastal paddy soils

土壤类型 Soil type	深度 Depth (cm)	胡敏酸 Humus acids					富里酸 Fulvic acids					HA/FA
		C (g kg ⁻¹)	占可溶 性碳 Percent- tage (%)	占总碳 Percent- tage (%)	N (g kg ⁻¹)	C/N	C (g kg ⁻¹)	占可溶 性碳 Percent- tage (%)	占总碳 Percentage (%)	N (g kg ⁻¹)	C/N	
100 a水田	0~15	0.97	11.43	7.07	0.09	11.28	1.54	18.14	11.23	0.07	22.65	0.63
100-year old paddy soil	15~20	1.24	29.01	18.65	0.02	51.67	1.36	31.81	20.45	0.03	52.31	0.91
	20~63	0.94	23.53	12.18	0.02	58.75	1.04	26.03	13.48	0.01	115.56	0.90
	63~100	0.98	26.02	14.82	0.06	17.50	1.15	30.53	17.40	0.02	54.76	0.85
500 a水田	0~15	1.68	20.30	18.02	0.08	20.74	0.99	11.96	10.62	0.07	13.94	1.70
500-year old paddy soil	15~19	1.94	25.11	15.67	0.06	34.64	1.05	13.59	8.48	0.03	32.81	1.85
	19~39	1.74	50.01	37.73	0.06	30.53	0.92	26.44	19.95	0.25	3.68	1.89
	39~88	1.07	35.86	23.67	0.02	66.88	0.74	24.80	16.37	0.95	0.78	1.45
	88~100	1.21	43.00	33.02	0.06	21.61	0.57	20.26	15.55	0.09	6.55	2.12
1000 a水田	0~18	1.96	18.92	16.36	0.09	21.30	1.24	11.97	10.35	0.35	3.54	1.58
1000-year old paddy soil	18~26	1.54	28.95	26.25	0.02	96.25	0.98	18.42	16.70	0.32	3.06	1.57
	26~41	1.74	40.88	17.44	0.09	19.77	1.05	24.67	10.53	0.68	1.54	1.66
	41~82	0.94	28.72	17.86	0.04	26.86	0.61	18.64	11.59	0.11	5.55	1.54
	82~100	2.35	20.36	16.33	0.09	26.11	1.65	14.30	11.47	0.65	2.54	1.42

2.3 不同滨海水稻土可溶性腐殖质的光学特性

一般认为, E_4 值可作为土壤腐殖质复杂程度的指标, 并且 E_4 值和腐殖质的芳香化度呈显著正相关^[11, 14, 15], 而另一指标相对色度 (RF)与腐殖质化程度也呈正相关关系。以往的研究表明, 以此作为腐殖质的结构表征, 不仅容易测定而且与用其他方法所得结果基本一致。

在表 5 中, 从 E_4 值和相对色度 (RF)可看出: $HA > HA$ 且随土壤剖面深度的加深 E_4 值和相对色度 (RF)均变大, 说明结合态腐殖质胡敏酸分

子结构较游离态中更为复杂, 而且底层较表层腐殖化程度高, 这可能与水田长期处于淹水状态腐殖质长期积累有关。在 100 a 水田中发现底层 FA 和 FA 的值比以上各层小, 在 100 a 水田、500 a 水田、1 000 a 水田中随着种稻时间变长, E_4 值和 RF 越大, 腐殖质的结构越复杂腐殖质化程度就越高。由于腐殖质本身结构的复杂性, 上述用 E_4 值和相对色度 (RF)得出的结果只是初步的结论, 有关进一步的探讨还需要其他的方法和指标加以证实^[16, 17]。

表 5 腐殖质组成的光学特性
Table 5 Optical properties of humus components

土壤类型 Soil type	深度 Depth (cm)	E_4						相对色度 RF			
		HA	HA	HA /HA	FA	FA	FA /FA	HA	HA	FA	FA
100 a水田	0~15	0.521	0.894	1.72	0.234	0.198	0.85	7.25	15.68	2.36	0.36
100-year old paddy soil	15~20	0.584	0.954	1.63	0.358	0.269	0.75	8.68	8.63	1.95	0.65
	20~63	0.781	1.23	1.57	0.485	0.369	0.76	11.25	10.56	2.36	1.02
	63~100	0.947	0.968	1.02	0.235	0.216	0.92	18.67	11.23	1.87	0.98
500 a水田	0~15	0.681	0.864	1.27	0.254	0.134	0.53	8.64	9.68	0.95	1.25
500-year old paddy soil	15~19	0.876	1.023	1.17	0.361	0.135	0.37	9.69	12.53	1.23	0.98
	19~39	0.954	1.658	1.74	0.358	0.256	0.72	14.25	16.98	1.64	2.04
	39~88	1.201	1.968	1.64	0.401	0.268	0.67	21.05	20.65	2.34	2.36
	88~100	1.302	2.354	1.81	0.432	0.295	0.68	8.32	9.36	2.65	0.91
1000 a水田	0~18	0.653	0.654	1.00	0.103	0.112	1.09	10.25	12.53	1.56	0.36
1000-year old paddy soil	18~26	0.874	0.987	1.13	0.114	0.125	1.10	11.65	15.63	1.94	0.98
	26~41	0.891	1.025	1.15	0.168	0.109	0.65	17.35	18.69	2.05	0.94
	41~82	0.956	1.369	1.43	0.257	0.184	0.72	22.36	20.87	2.01	1.23
	82~100	1.213	1.985	1.64	0.368	0.214	0.58	24.56	28.36	2.12	1.68

E_4 : $C\ 0.136\ mg\ L^{-1}$ 溶液在 $\lambda = 465\ nm$ 处的吸光度值。Absorbency values of $C\ 0.136\ mg\ L^{-1}$ solution at the wavelength of 465 nm

3 结 论

通过利用连续加热提取的方法对滨海水稻土腐殖质进行研究得出以下主要结论:

1) 三种滨海水稻土提取各组分中有机碳绝对含量及氮含量均高于以下各层, 在 1 000 a 水稻土由于发现炭柱, 腐殖质的可溶性组分以及可溶性的各部分组成出现一个峰值。

2) 随种稻时间的增长, 结合态腐殖质有机碳含量在可溶性腐殖质以及总有机碳中的比例略有增加, 有利于有机质数量上的增加及品质的提高。另外从沉淀率 (PQ) 数值也可以看出水稻土成土越

久, 其在腐殖质中占的比率就越高。这说明胡敏酸作为腐殖质中相对稳定的成分, 在水稻土成土过程中有逐渐积累的趋势。

3) 从腐殖质的光化学性质来看, 在成土过程中腐殖质中的富里酸有进一步缩合转化为胡敏酸的趋势, 1 000 a 水田腐殖质芳香化程度最高, 结构更复杂。

参 考 文 献

- [1] 代静玉, 秦淑平, 周江敏. 土壤中溶解性有机质分组组分的结构特征研究. 土壤学报, 2004, 41(5): 721~727. Dai J Y, Qin S P, Zhou J M. Study on structural characteristics of dissoluble organic matter composition in soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(5): 721~727

- [2] 张奇春,王光火.施用化肥对土壤腐殖质结构特征的影响.土壤学报,2006,43(4):618~623. Zhang Q C, Wang G H. Effects of structural characteristics organic matter in soil on chemical fertilizers (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(4):618~623
- [3] 张晋京,窦森,李翠兰,等.土壤腐殖质分组研究.土壤学报,2004,35(6):706~709. Zhang J J, Dou S, Li C L, et al. Study on classifying humus in soil (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(6):706~709
- [4] 牛灵安,郝晋珉.盐渍土熟化过程中腐殖质特性的研究.土壤学报,2001,38(1):114~122. Niu L A, Hao J M. Characteristics of humus in maturing salt-affected soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(1):114~122
- [5] 吕贻忠,张凤荣,孙丹峰.百花山山地土壤有机质的垂直分布规律.土壤,2005,37(3):277~283. Lu Y Z, Zhang F R, Sun D F. The vertical distributed laws of organic matter in the Baihua Mountains (In Chinese). Soils, 2005, 37(3):277~283
- [6] Williams A, Xing B S, Veneman P. Effect of cultivation on soil organic matter and aggregate stability. Pedosphere, 2005, 15(2):255~262
- [7] 张福锁,等.土壤与植物营养研究新动态(第三卷).北京:中国农业出版社,1995.130~141. Zhang F S, et al. New Developments on Soil and Plant Nutrition Research (Vol 3) (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1995.130~141
- [8] 中国科学院南京土壤研究所编.中国土壤.北京:科学出版社,1978.299~309. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences ed. Chinese Soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1978.299~309
- [9] 姜益娟,郑德明,吕双庆,等.新疆农田土壤有机质含量及组成特征.土壤,2004,36(1):43~45. Jiang Y J, Zheng D M, Lu S Q, et al. Composition features and content of organic matter in cropped soil of Xinjiang (In Chinese). Soils, 2004, 36(1):43~45
- [10] 胥清利.枫香与杉木、马尾松混交林土壤有机质和腐殖质碳的研究.福建林业科技,2007,34(4):42~45. Xu Q L, A study on soil organic and humic carbon in mixed plantations of *Liquidambar formosana* and *Cunninghamia lanceolata* L. *formosana* and *Pinus massoniana* (In Chinese). Jour of Fujian Forestry Sci and Tech. 2007, 34(4):42~45
- [11] 陈立新,宋志韬,纪萱.红松人工林腐殖质组成及其结合形态研究.中国水土保持科学报,2007,5(3):39~44. Chen L X, Song Z T, Ji X, Study on compositions of soil humus and their combining forms of *Pinus koraiensis* plantations (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2007, 5(3):39~44
- [12] 蔡燕飞,辛家恩,张杨珠.稻作制度对红壤水稻土有机质特征的影响.土壤,2006,38(4):386~389. Cai Y F, Xin J E, Zhang Y Z. Effects of characteristics of organic matter on rice-based cropping systems from paddy red soil (In Chinese). Soils 2006, 38(4):386~389
- [13] 李庆民,尹达龙.黑土肥力变化特点及其与土壤复合胶体性质的关系.土壤学报,1982,19(4):351~359. Li Q M, Yin D L. Relation between characteristics of fertility transformation and combinative colloid in black soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1982, 19(4):351~359
- [14] Williams A, Xing B S, Veneman P. Effect of cultivation on soil organic matter and aggregate stability. Pedosphere, 2005, 15(2):255~262
- [15] Yang Y S, Chen G S, Yu X T. Soil fertility agroforestry system of Chinese fir and vilvous amomum in subtropical China. Pedosphere, 2001, 11(4):341~348
- [16] Xing B S, Liu J D, Liu X B, et al. Extraction and characterization of humic acids and humic fractions from a black soil of China. Pedosphere, 2005, 15(1):1~8
- [17] 顾志忙,王晓蓉,顾雪元,等.傅立叶变换红外光谱和核磁共振法对土壤腐殖质的表征.分析化学,2000,28(3):314~317. Gu ZM, Wang X R, Gu X Y, et al. Study on humus characteristics in soil by Fourier transform infrared spectrophotometer and nuclear magnetic resonance (In Chinese). Anal Chem., 2000, 28(3):314~317

COMPOSITION OF HUMUS IN COASTAL PADDY SOIL AND ITS SUCCESSION WITH CULTIVATION AGE

Gu Xiaozhi^{1,2} Zhang Gangya^{1†} Yu Yuanchun² Cao Zhihong¹

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Forestry Resource and Environment College, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract A study was carried out to explore composition and characters of humus in coastal paddy soil. Results show that the surface soil layer was the highest in organic carbon and N content regardless of humus fractions. In tightly bonded humus relatively stable in structure and humus acids, C/N ratio fluctuated less, while in loosely bonded humus and fulvic acids, it did in a wider range. The formers showed an accumulating trend in soils with the age of paddy planting, and the highest degree of aromatization and the most complicated structure in 1000-year old paddy soil.

Key words Coastal Paddy Soil; Humus; Quantitative characteristic; structural characters