

苏南昆山地区全新世土壤与环境*

龚子同 刘良梧 张甘霖

(中国科学院土壤研究所, 南京 210008)

摘要 河湖相沉积物上发育的昆山大市镇土壤位于太湖地区, 形成于 1 万年以前。根据土壤特性, 沉积—成土作用阶段, 放射性碳年龄以及孢粉和微形态分析, 该土壤可划分为四个层段。土壤层段特性的变化反映出这里全新世自然环境的变迁和人为活动在土壤中留下的不可磨灭影响, 尤为强调的是这里水稻栽培有着悠久的历史。

关键词 全新世土壤, 成土环境, 人类活动, 水稻栽培

中图分类号 S151+.3

昆山大市镇位于苏南水乡太湖地区的东北面(图 1)。尽管太湖的成因众说纷纭, 有“泻湖成因说”, “构造湖说”, “三江壅塞说”和“风暴流涡动成因说”等等^[1, 2], 但太湖位于江南碟型洼地的中心, 而昆山地区则属于江南平原中的古滨海沼泽平原恐无多大争议。本文试图通过¹⁴C 断代, 孢粉分析、微形态分析和土壤化学分析从土壤的特征, 形成年代和土壤环境对昆山大市镇全新世土壤剖面作一探讨。

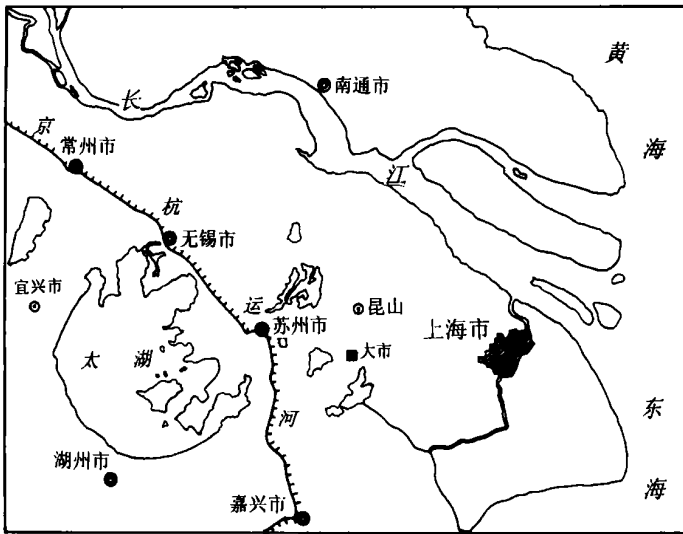


图 1 剖面位置图

Fig. 1 Location of the soil profile

* 国家自然科学基金(49831004)和中国科学院特别支持项目资助

收稿日期: 2000-12-05; 收到修改稿日期: 2001-01-05

1 土壤特征

1.1 土壤一般特征

根据土壤形态特征、¹⁴C 年龄及孢粉分析等, 该土壤剖面自上而下可划分为四个层段。上部(0~ 65 cm)为现代耕作土壤层段, 中上部(65~ 110cm)为湖沼沉积—成土作用层段, 中下部(110~ 225 cm)为过渡性的沉积—成土作用层段, 下部(225~ 335 cm)则属于河湖相冲积物初期沉积—成土作用层段。

土壤剖面 pH 变幅较大, 呈微酸性—微碱性反应。上部 pH 介于 6.3~ 7.5 之间, 中部 pH 值波动幅度大(5.7~ 8.2), 下部为 6.0~ 7.8。上部土层有机质较为丰富, 含碳量可达 12.3 g kg⁻¹ (见表 1)。这与近 2000 余年来人为耕作、施肥有关。中上部土层虽为湖沼沉积—成土作用层段, 但有机碳含量并不高, 仅有 4.2 g kg⁻¹ 远远低于上部土层。中下部土层渐减至 2.9 g kg⁻¹, 下部层段又降到 2.6 g kg⁻¹。碳酸钙含量则由上部的 1.3 g kg⁻¹ 增加到中部的 1.9~ 2.4 g kg⁻¹, 随之消失, 至底部又有所增加。养分含量中, 全氮含量随着剖面深度的增加而减少, 由 1.22 g kg⁻¹ 减至 0.32 g kg⁻¹; 全磷则是中上部土层最高, 可达 1.83 g kg⁻¹, 随之渐减; 全钾在剖面各层次之间的变化类同于全磷的变化。碳氮比介于土壤正常值范围内。顶部层段的上、下部碳氮比为 10~ 12, 更加反映出农业耕作环境表土耕作层的性质。

表 1 土壤的一般化学性质

Table 1 Chemical properties of the soils

层段深度	有机碳	全氮	全磷	全钾	C/N	阳离子交换量	交换性 Ca/ 交换性盐基
Depth of soil horizons (cm)	Organic carbon	Total N	Total P ₂ O ₅	Total K ₂ O		CEC	Exchangeable Ca/ exchangeable bases
	g kg ⁻¹					(cmol kg ⁻¹)	(%)
0~ 65	12.3	1.22	1.51	18.9	10.9	18.70	68.7
65~ 110	4.2	0.47	1.83	19.9	8.87	12.13	59.6
110~ 225	2.9	0.33	1.53	17.5	8.90	17.52	57.4
225~ 335	2.6	0.32	1.34	16.8	8.12	17.27	51.6

土壤阳离子交换量(12.13~ 18.70 cmol kg⁻¹)与有机质、粘粒含量关系较为密切。在中上部层段(65~ 110 cm)有机质含量并不太少的情况下, 阳离子交换量最小。这只能反映出该阶段沉积—成土物质颗粒比下部更粗的结论。土壤剖面基本处于盐基饱和状态, 另外值得一提的是, 上部土层交换性钙占到交换性盐基总量 68.7%, 而中部下降到 57%~ 60%, 下部继续下降至 51.6%。

1.2 土壤微形态特点

从表 2 可见, 在这一剖面中, 从土壤基质的颜色看, 1~ 2 层、3~ 4 层、5~ 6 层以及 1~ 9 层有明显的区别, 似乎是不同时期的成土物质。剖面中有机质腐殖化植物残体愈往下分

表 2 土壤微形态特征

Table 2 Micromorphological features of the soils

层次 No.	深度 Depth(cm)	基质颜色 Matrix color	铁质形成物 Ferruginous formations	黏粒形成物 Clay formations	生物形成物 Bioformations	微形态指示定义 Indication
1	0 ~ 18	灰棕-油棕 (7.5YR 5/2.5)	铁质形成物 Ferruginous formations 大量铁质污染斑和根际铁质环状物	—	较多腐殖化和分解植物残体	粉砂~黏粒胶膜是水稻土形成产物
2	18 ~ 35	灰棕-油棕 (7.5YR 5/2.5)		铁质环状物中大多有黏粒粉砂混合胶膜	较多腐殖化植物残体	
3	35 ~ 65	灰棕色 (7.5YR 6/2)		铁质环状物中较多见有黏粒粉砂胶膜	多量腐殖化植物碳体、碳化植物残体	有明显的水稻土形成特点
4	65 ~ 110	比上层棕些 (7.5YR 5/3.5)		除铁质环状物以外,还有较多单独存在的粉砂-黏粒胶膜	一些腐殖化植物残体,多量腐殖质植物残体碎屑	
5	110 ~ 165	油棕色 (7.5YR 1/3.5)	大量铁质污染斑,根际铁质环状物,少量铁质凝团,大孔隙壁有铁质胶膜	少数大孔隙壁有凝积黏粒胶膜(<0.3%)	—	—
6	165 ~ 225			大孔隙壁有凝积黏粒胶膜(5%),一些较大孔隙壁有粉砂-黏粒胶膜	—	粉砂-黏粒胶膜明确指示有水稻土形成
7	225 ~ 260	灰棕色 (7.5YR 5/2)	大量铁质污染斑,少量锥形铁质凝团和铁质凝团,较多铁质胶膜	铁质黏粒胶膜(占1%)	—	7~9层基质颜色相同,颜色较艳,可能原为高地土壤,至于铁质浸染斑等氧化还原特征则是后期多水成环境的影响
8	260 ~ 295			淀积黏粒胶膜(占箱片面积0.8)呈橙—亮红棕(5YR 5.5/8)	—	
9	295 ~ 335			有一些黏粒凝积胶膜(占箱片0.5%)呈亮棕(7.5YR%)	—	

表 3 土壤的化学组成与元素富集系列

Table 3 Chemical composition of the soils and sequence of elements enrichment

深度 Depth(cm)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
0~65	649.3	162.7	55.5	7.4	16.3	9.1	0.79	18.9	11.9	1.51	6.82
65~110	656.0	162.3	61.9	10.1	18.6	9.4	0.80	19.9	13.0	1.83	6.87
110~225	676.3	153.9	54.3	8.9	15.7	9.8	0.74	17.5	12.3	1.53	7.11
225~335	672.6	157.8	56.0	7.6	15.8	9.0	0.77	16.8	11.6	1.34	7.84
富集量与 富集系数	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	NaO	P ₂ O ₅	
Enrichment amount & enrichment coefficient	(g kg ⁻¹)										
土体	660.4	160.2	56.6	8.1	16.6	9.3	0.77	18.3	12.0	1.48	
母质	690.7	150.3	52.2	8.1	13.3	9.2	0.82	16.1	12.0	1.59	
富集系数	0.96	1.07	1.08	1.00	1.25	1.01	0.94	1.14	1.00	0.94	

解程度愈深,至 110 cm 以下未见有植物残体存在。1~9 层均有大量铁质形成物,如铁质浸染斑、根际铁质环状物、铁质凝团和铁质胶膜,说明土壤中存在明显的氧化还原交替过程,而下部 7~9 层颜色较艳、特别是第 8 层胶膜更红,也许可以说明原系淋溶土、而后受到水成环境的影响。至于粘粒形成物颇具指示意义。除最表层外,其余各层均有不同形式的粘粒胶膜,包括粘粒胶膜、铁质粘粒胶膜、铁质/粘粒组合胶膜以及粉砂粘粉胶膜,(俗称灰胶膜),其中粉砂-粘粒胶膜是水耕人为土(水稻土)形成的特色产物^[3,4]。从 18~110 cm 处均有此胶膜,110~165 cm 层处未见有此种胶膜,而深至 165~225 cm 则又重见此种胶膜,由此可见太湖地区水稻栽培有着非常悠久的历史。

1.3 土壤地球化学特征

昆山市镇河湖相沉积物发育的土壤,其元素氧化物含量以 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 等为主(表 3)。 SiO_2 含量随着剖面深度有所增加, Al_2O_3 含量则呈现出剖面上部和中部大于中下部和下部的明显趋势。 Fe_2O_3 则集中在中上部。与此同时,剖面中上部的 CaO 、 MgO 、 K_2O 和 Na_2O 含量亦处于领先的地位。这亦证明在湖沼沉积—成土作用阶段,土壤保留有粉砂质黄土性沉积物质的某些特性有关。剖面土体硅铝率尽管呈现出随深度而增大的趋势,但明显可划分出上小(6.8~6.9)下大(7.1~7.8)的两段。尽管湖沼沉积—成土作用时期生物气候环境比现今稍优越些,但 65~110 cm 这层段的成土作用程度与现今耕作土壤的风化、成土作用程度相比,似乎并无多大差异。

昆山市镇土壤剖面虽以 SiO_2 含量为主,但是土体中并不富集 SiO_2 。这与母质中 SiO_2 含量较高,且在土体中有所下移有关。 TiO_2 的抗风化能力较强,而该土壤的风化作用又较弱,因而土体中仍保留有钛的原生矿物,以致它的富集系数保持在 1 左右。此外,土体中还富集有 MgO 和 K_2O 。它们的元素富集系数分别达到 1.25 和 1.14。而 Fe 、 Al 元素在该剖面中的富集程度则处于次要地位。由此可见,本剖面的元素集序列是 $\text{Mg} > \text{K} > \text{Fe} > \text{Al} > \text{Ti} > \text{Ca} = \text{Na} > \text{Si} > \text{Mn} = \text{P}$ 。

1.4 氧化铁、锰的形态及其含量

表 4 说明,土壤氧化铁总量介于 $56\sim 62 \text{ g kg}^{-1}$ 范围之内。其中以第二层段含量最高。游离铁含量随土壤全铁含量的增加而增加,呈现出一定程度的相关性。活性氧化铁在土壤剖面中的含量变幅集中在 $1.77\sim 9.08 \text{ g kg}^{-1}$ 之间。其中表层较高,为 4.82 g kg^{-1} 。这与表层有机质含量较高有关。而中下部层段 110~225 cm 处的活性氧化铁却高于表土,尤其是 110~165 cm 土层活性氧化铁的含量高达 12.4 g kg^{-1} 。因此,它们的铁活化度亦相应远远高于表土。其中 110~165 cm 土层的铁活化度可达 65.45,为表土的三倍。很可能,这与该土层内富含较多的细小石化根,以及活性氧化铁在根孔壁大量聚集相关联。

土壤剖面中氧化锰的含量远远低于氧化铁,且四个层段间的差异很小(介于 $0.74\sim 0.80 \text{ g kg}^{-1}$ 之间)。活性氧化锰在剖面中的分异亦不大,可活化度却随着深度而迅速增加,尤其是从 110 cm 往下氧化锰的活化度在 88% 以上,甚至达到 92%。

2 土壤年龄

昆山市镇土壤剖面内的碳酸盐微乎其微,1 kg 土壤中的最高碳酸钙含量亦只有 2.4 g。

表 4 土壤铁、锰氧化物含量

Table 4 Content of iron and manganese oxides in the soil

深度 Depth	全铁 Total		游离铁 Free		活性铁 Active		游离度 Free degree		活化度 Active degree	
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(%)	(g kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0~65	55.5	21.3	2.86	38.1	13.4	0.79	0.51	0.36	64.6	69.3
65~110	61.9	30.3	1.77	42.9	5.8	0.80	0.53	0.29	66.3	77.2
110~225	54.3	21.7	9.08	40.0	41.8	0.74	0.43	0.38	58.1	88.4
225~335	56.0	27.1	1.92	48.5	7.1	0.77	0.41	0.37	53.7	92.3

显然,无机碳酸盐的放射性碳断代已不可能。土壤剖面中有机质含量尽管随深度有减少的趋势,但下部土壤在大量样品的富集下尚能保证¹⁴C断代的需求。

¹⁴C断代表明,表土层年龄属现代碳范围,亚表土层距今180 a,往下至上部层段底部年龄达2 250 a。中上部和中下部两个层段的三个年龄分别为5 485 aBP; 7 000和7 370 aBP。而下部层段保持在1万年左右。其测定数值为10 220和10 240 aBP。很明显,土壤剖面年龄的总趋势是随深度而增加。并且剖面从上到下,大致构成四个形成阶段,亦即,现代耕作土壤形成阶段,湖沼沉积—成土作用阶段,过渡性的沉积—成土作用阶段和初期沉积—成土作用阶段。但在剖面中下部和下部,年龄增长速度颇为缓慢,甚至保持在一固定数值范围内。上述特征反映出剖面中下部和下部层段的成土年龄处于动态稳定时期。

3 成土环境

土壤剖面的九块样品1 532粒孢粉组合表明,225 cm以上的六块样品孢粉较为丰富,而此深度以下孢粉则甚为稀少(图2)。根据花粉种类及其数量沿剖面的变化,可划分为4个孢粉组合带。

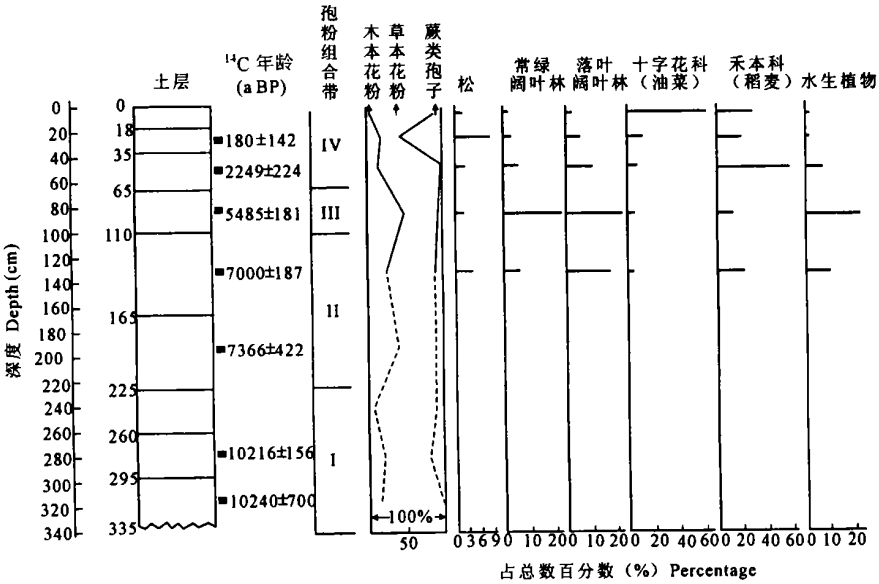


图2 昆山大市镇土壤剖面年龄与孢粉图式

Fig. 2 ¹⁴C age and pollen diagram of the soil profile in Dashi, Kunshan, Jiangsu

带 I (225~ 335 cm) 属孢粉贫乏段,以草本植物为主(占总数 76%),由蒿(*Artemisia*)、菊科(*Compositae*)和禾本科(*Gramineae*)组成;少量木本植物中见有枫杨(*Pteocarye*)、桤木(*Alnus*)和柳(*Salix*)。估计为前北方期(9~ 10 KaBP)的气候环境特征。

带 II (110~ 225 cm) 孢粉中草本植物花粉相对减少了 16.6%,而木本植物则增加了一倍之多,占到总数的 31.6%。更为明显的是有占总数 5.7%的常绿阔叶树种出现。它们

是栲 (*Castanopsis*)、青岗栎 (*Cyclobalanopsis*) 和杨梅 (*Myrica*)。与此同时, 水生植物香蒲 (*Typha*) 迅速增多, 可占到总数的 9.1%, 并且还有数量不少的膜蕨 (*Hymenophyllum*)、凤尾蕨 (*Pteris*) 和水龙骨科 (*Polypodiaceae*) 存在。孢粉种类和数量的明显变化意味着土壤 ^{14}C 年龄为 7 000 aBP 时已开始进入大西洋暖湿时期。

带 III(65~110 cm) 孢粉中木本和草本植物均很丰富。它们各占到孢粉总数的 49.1% 和 46.0%。其中木本植物中的常绿阔叶树种迅速增至 23.4%, 主要由青岗栎和栲所组成; 落叶阔叶树种以栎 (*Quercus*)、桦 (*Betula*)、桤木 (*Alnus*)、和枫杨 (*Pteocarya*) 为主, 另外还有榆和枫香等。而草本植物中则以水生植物 (占总数 23.0%) 和禾本科 (占 10.6%) 占据优势。水生植物中绝大多数为香蒲 (占总数 21.5%), 另有少量黑三棱 (*Sparganium*) 和杏菜 (*Nymphaoides*)。与此同时, 还有大量喜湿的凤尾蕨和水龙骨科类植物存在。上述孢粉组合基本反映出这一时期森林—水生植被的自然景观。水生植物孢粉异常丰富, 且类似于太湖东岸平原和杭嘉湖平原的情况^[5,6], 说明当时的环境为湖沼, 而在附近的高地则发育有较好的常绿、落叶阔叶混交林, 常绿树种多于落叶树种估计当时的气候为温暖湿润的中亚热带北缘气候, 其温度与现今相仿, 而水湿条件则更优越些。禾本科植物占有一定比例可能是近湖岸亦受到农耕的影响。这在微形态薄片观察中亦得到证实。显然, 孢粉指示了大西洋期最佳的暖湿气候。该层段的年龄为 $5\,485 \pm 180$ aBP, 与距今 6 000~5 000a 太湖平原地区出现星罗棋布的湖泊群^[1], 以及气候特点颇为吻合。

带 IV(0~65 cm) 孢粉基本以草本植物为主, 占总数 62.5%, 而木本植物较少 (仅占 13.2%)。表层(0~18 cm) 十字花科占孢粉总数的 61.6%, 而禾本科仅占 13.3%。这说明近代可能是以种植油菜和稻谷为主, 而该带下部(35~65 cm) 十字花科和禾本科花粉的优劣势发生了明显变化。禾本科花粉占总数 57.1%, 而十字花科仅占 2.2%。它反映出这段时期的农耕面貌以稻麦为主。木本植物和水生植物花粉的变化趋势可能说明该层段土壤早期水网化程度高些, 而现代比以前要高爽些。这种现象与土壤颜色上黄下灰亦相吻合。 ^{14}C 断代(180 a, 2 250 aBP) 和孢粉组合反映出全新世晚期亚大西洋期气候(2.5 KaBP—至今)的特点和这阶段时期的农耕面貌。

4 结 语

上述土壤特征, ^{14}C 年龄和孢粉图谱说明苏南昆山大市镇土壤在全新世时期存在有四个层段: 河湖相冲积物初期沉积—成土作用层段, 过渡性沉积—成土作用层段, 湖沼沉积—成土作用层段和现代耕作土壤层段。而它们的存在又充分反映出这里全新世气候的变迁, 植被的演替和人为活动的增强所显示出的环境变化。同时, 不仅从孢粉, 而且从土壤学上证明苏南地区水稻栽培的历史可以追溯到 7 000 年以前, 几乎与浙江河姆渡植稻的历史相当^[7],

致谢: 感谢陈志诚、张甘霖、骆国保、赵文君等共同参加野外工作, 曹升赓鉴定土壤微形态切片。

参 考 文 献

1. 洪雪晴. 太湖的形成和演变过程. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(4): 7~99

2. 景存义. 太湖地区全新世以来古地理环境的演变. 地理科学, 1985, 5(3): 227~ 234
3. 曹升赓. 水稻土的微形态特征. 见李庆远主编. 中国水稻土. 北京: 科学出版社, 1992. 56~ 76
4. Bammer H. Coating in seasonally flooding soils. Geoderma, 1971, 6(1): 5~ 16
5. 于世永, 朱诚, 曲维正. 太湖东岸平原中全新世气候转型事件与新石器文化中断. 地理科学, 1999, 19(6): 549~ 554
6. 吴玉卫, 蔡祖仁. 杭嘉湖平原土壤中孢粉和微体古生物反映的母质类型及古地理环境探讨. 土壤学报, 1996, 33(2): 158~ 165
7. 浙江省博物馆自然组. 河姆渡遗址动植物遗存的鉴定研究. 考古研究, 1978, 1: 95~ 107

HOLOCENE SOILS AND ENVIRONMENT IN KUNSHAN REGION, SOUTH JIANGSU

Gong Zi-tong Liu Liang-wu Zhang Gan-lin

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

Summary

The soils on fluviolacustrine deposit, in Kunshan region, South Jiangsu, formed in the Holocene. According to the analysis of their soil properties, ^{14}C age and pollen spectrum, and micromorphology the soils of Holocene can be divided into four forming stages: initial, transitional and typical ones of deposition-soil formation, as well as forming stage of modern cultivated soils. The four forming stages are consistent with early Holocene, the beginning of mid-Holocene, optimum mid-Holocene and late Holocene. At the same time, they reflect changes in the environment during the Holocene including climate change, and vegetation evolution under intensive cultivation of human. It should be emphasized that rice cultivation here has a long history.

Key words Holocene soils, Soil-forming environment, Human activities, Rice cultivation