

# 绰墩遗址新石器时期水稻田、古水稻土剖面、植硅体和炭化稻形态特征的研究\*

曹志洪<sup>1†</sup> 杨林章<sup>1</sup> 林先贵<sup>1</sup> 胡正义<sup>1</sup> 董元华<sup>1</sup> 章钢娅<sup>1</sup> 陆彦椿<sup>1</sup>  
尹睿<sup>1</sup> 吴艳宏<sup>2</sup> 丁金龙<sup>3</sup> 郑云飞<sup>4</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

(3 苏州博物馆, 江苏苏州 215001)

(4 浙江省文物考古研究所, 杭州 310014)

**摘要** 绰墩遗址第六次发掘的 300 m<sup>2</sup> 范围内出土 22 块古田块, 通过对其田埂、灌排系统(水口、水沟、水井)等结构特征的观察研究, 对古田块和水沟中出土的灌溉用具——陶罐和陶盆碎片的鉴定是属于马家滨文化时期的器物; 从田块表土层中淘洗出大量的炭化稻粒, 每克土壤中检测到有上万至十余万颗水稻植硅体, 这些结果证明所发现的田块是马家滨时期的灌溉稻田。对出土的炭化稻粒和土壤有机质的<sup>14</sup>C 定年结果表明其年龄分别为 5 907 a BP 和 6 280 a BP, 是新石器即晚马家滨文化时期的水稻文明。

对在遗址挖掘的两个整段剖面(P-01 和 P-03)的研究发现, P-01 剖面上 42~103 cm 层位埋藏有马桥文化-商朝初期(3 320 a BP)和在 103~200 cm 层位埋藏有马家滨时期(6 280 a BP)的两个古水稻土剖面, 这一结果佐证了前人关于 8 000 年来长江三角洲地区曾有过几次大的洪水泛滥而使人类耕作活动中断的气候变化事件的结论。然而距 P-01 仅 15 m 的 P-03 整段剖面上仅出现了马桥-商朝初期的古水稻土剖面(40~100 cm), 未发现马家滨时期古水稻土剖面(100~200 cm), 说明当时的生产力非常低下, 仅能利用低洼平坦的地方种稻, 稍高一点的居住点附近的坡地就无法改成梯田种植水稻了。这两个埋藏的古水稻土剖面均已经发育了水稻土的明显特征。

对出土炭化稻粒的形态学研究表明, 外型多为椭圆形, 长宽比的变异较大, 稃面有方格凹陷结构、周边有稃毛, 顶端残留有稻芒的基部, 基部有护颖而没有小梗, “钝形”的双峰乳突、浅平的凹陷乳沟等均显示其为人工栽培的粳型水稻。结果与丁颖 20 世纪 50 年代在黄河流域发现的汉代的炭化稻粒的特征是吻合的, 从而支持了关于“我国长江流域与黄河流域古代最早栽培的水稻都是粳稻品种”的论点。

**关键词** 埋藏古稻田; 古水稻土; 新石器时期; 水稻植硅体; 粳型栽培稻; <sup>14</sup>C 定年

**中图分类号** S155.4

**文献标识码** A

水稻的起源和传播是考古学、农学、遗传学、土壤学和环境学研究共同感兴趣的课题<sup>[1~4]</sup>, 关系到我国农业文明的历史和水稻土可持续利用的理论。自河姆渡发现稻谷遗存和稻作农具以来, 长江下游地区作为中国稻作起源的一个中心已引起人们极大关注<sup>[5~8]</sup>。绰墩遗址发现的马家滨时期 24 块古稻田是继草鞋山和河姆渡发现古稻作文明遗迹以来长江中下游考古学最重要成果之一<sup>[6~8]</sup>。此前发现的古稻田(草鞋山和绰墩等遗址等)主要是对出土炭化稻的形态和是否是栽培稻等进行了研究<sup>[4~8]</sup>,

没有对水稻田进行土壤学、环境学、生态学等多学科研究。在国家自然科学基金的支持下, 2003 年 11 月中国科学院南京土壤研究所与苏州博物馆等单位合作, 对绰墩遗址进行了第 6 次发掘, 就古稻田和古水稻土的剖面进行了土壤学的深入研究, 通过对古今水稻土的肥力、环境和健康质量的比较, 以孢粉学、微生物学、分子生物学和核磁共振等手段对古水稻土的性质以及可能反映的古气候、古环境条件进行了探讨<sup>[9~13]</sup>; 以揭示水稻土发生、发育的过程及可持续利用的机理, 进而提出保护水稻田的对策与

\* 国家自然科学基金重点项目“水稻土可持续利用机理研究”(40171056)资助

† 通讯作者, E-mail: zhcao@issas.ac.cn

作者简介: 曹志洪(1941~), 研究员, 浙江余姚人, 主要从事土壤、植物营养与环境研究

收稿日期: 2006-10-11; 收到修改稿日期: 2007-02-08

措施。本文报道了新发现的埋藏古水稻田的形态、结构和分布以及古水稻土剖面的特征、土壤有机质和炭化稻的 $^{14}\text{C}$ 定年、水稻植硅体和炭化稻的扫描电镜观测及研究结果。

## 1 材料与方法

绰墩遗址位于江苏省昆山市正仪镇北 2 km, 地处阳澄湖和傀儡湖之间的狭长地带, 总面积 40 万  $\text{m}^2$ <sup>[4]</sup>。本次发掘选择在第 1 区的 300  $\text{m}^2$  作为研究对象, 挖掘了两个剖面 (P-01 和 P-03, 两者相距 15 m) 以进行对比研究; 对区域内埋藏的马家滨时期的古水稻田进行测量和制图; 从编号为 S-27 的古水稻田淘洗获得 200 多颗炭化稻, 用以研究古代稻谷的形态特征。

遗址的考古发掘按中国考古界常用方法进行<sup>[4]</sup>。土壤剖面的挖掘、记载、描述, 土壤理化性质的分析按土壤学的常规方法进行<sup>[14, 15]</sup>。根据藤原介绍的方法分析土壤植硅体, 以藤原建议的每克土样含水稻运动细胞植硅体 > 5 000 个作为该土壤曾有水稻生长的评判标准<sup>[16]</sup>。用高倍立体显微镜结合超高分辨率扫描电镜来研究古稻谷的形态特征。根据液体闪烁分析仪方法测定炭化稻、土壤有机碳中 $^{14}\text{C}$ 丰度来推算炭化稻和古水稻土的年龄<sup>[17]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 古水稻田的确认、形状及其面积

前国际水稻研究所副所长、著名的水稻专家 Greenland<sup>[18]</sup> 提出确认灌溉稻田须具备下列三个条件: (1) 四周有田埂围护和进出水口以维持田面具有一定的水层, 供水稻生长; (2) 有灌溉的渠道和水源保证灌溉水的供应; (3) 有灌溉的工具或设备, 用以将灌溉水输入稻田。绰墩遗址所发现的每块田的四周都有田埂围隔, 是保留的原生土(母质), 推测是先民用手或简单的木、石、骨制农具稍做加工形成的。每块田的田埂上都有水口, 用以水的排灌: 排水时将水口的软泥块取去放在一边; 灌水时再取软泥块将水口堵上, 以保持水稻生长季节有一定水层覆盖田面。有与田块配套的水沟、水塘(井)等灌溉设施, 水沟的一头与稻田进出水口相连, 另一头则与水塘(井)相连, 形成了较完整的灌溉系统。同时, 在古水稻田、灌水沟或水塘(水井)里出土了不少盆、罐等属于马家滨时期陶器的碎片, 这些盆、罐可以用来从水

井或水塘中舀水灌溉稻田<sup>[17]</sup>, 当然也兼有运输生活用水到居所或在居所储水的功能。在这些田块以及同一文化层的灰坑中淘洗出大量(1 000 粒以上)炭化稻粒(图 1~图 3)以及菱角和一些湿地生长的植物残体, 证明这些田块曾经种过水稻并伴生有不少水生杂草。大多数田块的土壤中均鉴定到超过 5 000 颗  $\text{g}^{-1}$  土的水稻植硅体, 证明这里种稻已有较长的历史<sup>[16]</sup>。上述结果符合 Greenland 提出的确认灌溉稻田须具备的三个条件, 根据遗址所发现的陶罐等器物考古部门确定为属于马家滨文化时期的稻田, 因此, 我们认为绰墩遗址发现的是迄今已知的世界上最古老的灌溉稻田。

本次发掘共出土 22 块 (S-25~S-45) 古水稻田, 田块形状不一(表 1), 呈圆角长方形或不规则形等多种。显然, 先民是利用原来地势低洼的“条形低地”<sup>[4, 7, 19]</sup>, 将地面稍加平整, 并用周边原有的生土层加工为田埂而形成的。马家滨时期的先民还不可能制造大型工具用来平整田块, 以形成较大面积的田块, 只能在小块土地上用木棍、骨耜翻耕<sup>[4, 5, 22]</sup>和用脚踩田(踏耕)<sup>[22]</sup>进行简单的平整和耕耘。因此所发现的古稻田面积都很小, 最小的一块为 0.32  $\text{m}^2$  (S-25), 最大的田块为 16.1  $\text{m}^2$  (S-08), 一般在 1~10  $\text{m}^2$  之间。

### 2.2 埋藏古水稻土剖面的形态特征

第 1 工作区的地层堆积是北部地势较低被开辟为灌溉稻田, 而南部地势较高是先民聚居的村落和墓葬地(现为村委会和小学所在地)。考古学家通常根据出土的陶片及其造型、纹饰等对地层进行分层<sup>[4, 7, 8]</sup>。据此, 对 P-01 剖面和 P-02 剖面一起划分文化层如下: 表层(第 1、2 层)为现代耕土层, 厚 22 cm; 第 3 层为宋代文化层, 厚 21 cm 左右; 第 4 层为马桥文化层, 厚 15 cm; 第 5、6 层为过渡层, 厚 43 cm; 第 7~10 层为马家滨文化层, 厚 50 cm。这次发现的 22 块古水稻田块就是在此文化层直接打破生土, 在“条形洼地”基础上劳作形成的<sup>[4, 7, 19]</sup>。

土壤学研究对土壤剖面的划分与考古学研究的分层不尽相同。土壤学者主要依据土壤发生来划分的, 考察的指标有土壤剖面的形态、结构、质地、颜色、新生体等<sup>[2, 3, 15, 20, 21]</sup>。据此, 将 P-01 剖面划分为 12 层, 而将 P-03 剖面划分为 11 层<sup>[9~13]</sup>。

根据古水稻田的面积一般都如此之小的事实, 我们判断在距离 P-01 剖面向东偏南 15 m 左右、靠近先民聚居村落附近的地方(其当时的地形部位是高出稻田分布区 4~5 m 的岗地上)挖掘的 P-03 剖

面上的相应的层位(103~130 cm)上,应该不可能有稻田土壤。发掘结果证明确实是旱地(至少不是水稻田),其颜色和结构均与P-01剖面同一层位的情况截然不同<sup>[9-11]</sup>,不是马家滨时期古水稻田的土壤。这是马家滨时期的先民还没有能力在稍高一点的地形部位上开挖水稻田,更不可能靠从低洼的水池或水井中提水来灌溉高处的稻田的证据。孢粉分

析证明这里以十字花科的孢粉为主,说明是旱地杂草丛生或是十字花科野菜生长为主的地方<sup>[12]</sup>。绰墩的先人们居住在湖沼平原之间的高岗丘陵地,兼过着在平原的农耕(种稻)和在湖沼山网渔猎采集的生活<sup>[22]</sup>,种稻以补充其他食物的不足和维持食物来源多样性的生活。因此将P-01剖面与P-03剖面进行比较研究是十分有意义的。

表1 绰墩遗址古灌溉稻田的面积、形状和厚度

Table 1 Area, shape, and thickness of the plow layer of ancient irrigated rice field at Chuodun site

稻田编号 No.	面积 Area (m <sup>2</sup> )	形状 Shape	厚度 Thickness (cm)	稻田编号 No.	面积 Area (m <sup>2</sup> )	形状 Shape	厚度 Thickness (cm)
S-01	0.38	不规则形	19	S-23	1.51	椭圆形	15
S-02	12.9	长条形	20	S-24	1.98	长条形	19
S-03	3.80	长条形	28	S-25	0.32	圆形	17
S-04	7.68	长条形	36	S-26	4.32	长方形	21
S-05	1.31	长方形	12	S-27	10.8	长方形	42
S-06	2.99	不规则形	09	S-28	0.96	不规则形	40
S-07	5.40	不规则形	36	S-29	10.8	椭圆形	44
S-08	16.1	圆形	20	S-30	4.29	近三角形	22
S-09	2.33	椭圆形	39	S-31	4.00	圆形	29
S-10	3.40	不规则形	34	S-32	2.88	长条形	17
S-11	5.39	近三角形	70	S-33	1.74	圆形	10
S-12	1.40	不规则形	27	S-34	2.64	不规则形	20
S-13	9.23	椭圆形	44	S-35	3.20	圆形	24
S-14	2.52	不规则形	54	S-37	8.84	圆形	33
S-15	4.35	不规则形	51	S-38	7.04	椭圆形	16
S-16	2.81	椭圆形	36	S-39	0.77	圆形	24
S-17	6.09	不规则形	15	S-40	8.28	椭圆形	16
S-18	0.98	椭圆形	39	S-41	2.10	圆形	23
S-19	1.12	不规则形	32	S-42	6.16	长条形	28
S-20	2.34	不规则形	30	S-44	3.24	圆形	27
S-21	7.40	椭圆形	34	S-45	3.84	圆形	27
S-22	1.58	圆形	40				

注:编号为S-36,S-43,S-46三块田没有记载 Note: No record available for fields S-36, S-43, S-46. Irregular; Long stripe; Rectangle; Round; Oval; Triangle like

两个土壤剖面的详细描述列于表2。

P-01和P-03剖面的0~22 cm土层有很多新鲜的稻茬和稻根残体,是现代水稻种植的表层和耕作层;P-01剖面的100~160 cm土层有较多的根系腐体,还淘洗出大量炭化稻谷<sup>[10,11]</sup>,证明该土层是古代先人种植水稻的表土层。在P-01剖面42~57 cm和100~130 cm都有灰色粉砂胶膜,粉砂-粘粒胶膜是水耕人为土形成的特色产物<sup>[20,21]</sup>,据此可以推断这两个土层曾有种植水稻的历史。龚子同等<sup>[3]</sup>报道,在昆山的大市镇(离本发掘地约东南50 km处)钻取的一个剖面上,在65~100 cm处发现了“有明显水稻土形成特点的”埋藏土层,还在165~225 cm处发现了第二个“明确指示有水稻土形成的”埋藏土

层,在同一地点也发现了有两个埋藏的古水稻土层的现象。

本研究是在发掘和确认了古灌溉稻田(群)和先民聚居点遗址的基础上,通过古灌溉稻田剖面形态观测、发现炭化稻粒、土壤中水稻植硅体分析和土壤有机质的<sup>14</sup>C定年(见本文下面的有关段落)的基础上肯定了绰墩遗址出现两个埋藏的古水稻土剖面。与龚子同等<sup>[3]</sup>的研究方法不同,但获得相同的结果。这里有多个埋藏的古水稻土剖面存在的事实佐证了长江三角洲地区在7 000 a BP~3 200 a BP期间确有过几次大的海平面上升或洪水泛滥等生态环境事件而导致人类耕作活动中断<sup>[22-26]</sup>的历史。

P-01和P-03两个剖面上部(0~40 cm)的颜色、

结构、质地和新生体等均相似:是现代水稻土层,下面则都连接着埋藏的马桥文化至我国北方的商代初期的古水稻土层(40~103 cm)。说明当时这里的地貌景观已经是一片平坦的大平原,随着劳动工具的进步,先人已能构筑较大面积的稻田,曾有过繁荣的

稻作文明。但是到商代初期(3 250 a BP~3 100 a BP)又有一次海平面上升导致的洪水泛滥<sup>[25,26]</sup>,迫使先民再一次的大迁移而成为荒蛮之地,即所谓的马桥文化的泯灭,而当时的黄河流域已经进入商周文明的历史繁荣时期。

表 2 绰墩遗址两个土壤剖面形态特征描述

Table 2 Morphological description of two soil profiles at Chuodun site

剖面 Profile	层位 Depth (cm)	基质颜色 Color of mass	结构 Structure	质地 Texture	铁、锰形成物 Fe & Mn mottles	生物形成物 Bio remains	侵入体 Intrusions
P-01	0~15	暗褐色(10YR3/3)	团块状 Crumb	重壤-轻粘 Heavy loam light clay	有较多的鳝血斑 Many Fe mottles	残留稻茬和根系多 Many rice straw and roots remains	
	15~22	灰黄褐色(10YR4/2)	块状 Lumpy	重壤-轻粘 Heavy loam light clay	有棕褐色土斑 Brownish mottles	有少量稻根 Some rice roots remains	
	22~42	浊黄褐色(10YR4/3)	块状 Lumpy	轻粘-重壤 Light clay- heavy loam	有少量铁锰结核 Some Fe & Mn concretion	有砖块等 Brickbat & pottery shard	
	42~57	黑褐色(10YR3/1)	棱块状 Block	轻粘-重壤 Light clay heavy loam	裂面有灰色粉砂胶膜,铁锰结核多 Gray silt film in surface and many Fe & Mn concretion	有陶瓷片 Potsherd	
	57~75	褐灰色(5YR4/1) 上下层差异明显	结构差 No structure	轻粘 Light clay	有少量铁锰结核 Some Fe & Mn concretion		
	75~100	黑褐色(5YR3/1)	块状 Lumpy	轻粘 Light clay			
	100~116	黑色(10YR2/1)	棱块状 Block	重壤 Heavy loam	裂面有灰色粉砂胶膜,含铁锰结核 Gray silt film in surface and some Fe & Mn concretion	淘洗出大量炭化稻粒 Many carbonized rice grains	马家滨时期陶片 Majiabang pottery shard
	116~130	褐灰(10YR4/1)	块状/棱块状 Lumpy/ Block	重壤 Heavy loam	裂面有灰色粉砂胶膜 Gray silt film in surface	有腐殖物质和根系腐体 Roots and plants residues	
	130~150	褐灰色(7.5YR4/1)	块状/棱块状 Lumpy/ Block	轻粘 Light clay	有锈斑、有铁锰结核 Fe mottles and Fe, Mn concretion	空隙内有根系腐体 Roots remains in cracks	有根孔 Hollow butt
	150~160	褐灰色(10YR5/1)	块状 Lumpy	轻壤 Light loam	泥质锈斑,结核 Clayish mottles and some concretion		
160~174	黄棕灰色(10YR5/1)		轻粘 Light clay				
174~200	黄棕色(10YR4/6)	棱块状 Block	轻粘 Light clay				
P-03	0~13	暗褐色(10YR3/3)	团块状 Crumb	重壤 Heavy loam	有鳝血斑 Eel blood type mottles	稻茬和根系密集 Many rice straw and roots residues	

续表

剖面 Profile	层位 Depth (cm)	基质颜色 Color of mass	结构 Structure	质地 Texture	铁、锰形成物 Fe & Mn mottles	生物形成物 Bio remains	侵入体 Intrusions
	13 ~ 23	灰黄褐色 (10 YR4/ 2)	块状 Lumpy	重壤 Heavy loam	有少量锈色斑点 Few rust mottles	有少量稻根 Some rice roots remains	
	23 ~ 40	浊黄橙色 (10 YR7/ 4)	块状 Lumpy	中壤 Middle loam	有锈色斑点 Few rust mottles	有碎砖块 Brickbat	
	40 ~ 50	浊黄褐色 (10 YR4/ 3)	块状/ 棱 块状 Lumpy/ Block	中壤 Middle loam	有铁锰小结核, 锈色斑点 Fe & Mn concretion and rust mottles	有陶瓷片 Potshard	
	50 ~ 60	褐灰色 (5 YR4/ 1) 上下层差 异明显	无结构 No structure	重壤 Heavy loam			
	60 ~ 88	浊黄褐色 (10 YR4/ 3)	块状 Lumpy	重壤 Heavy loam	有大量铁锰结核 Many Fe & Mn concretion		
	88 ~ 103	黑色 (10 YR2/ 1) 上下层差异明显	块状 Lumpy	重壤 Heavy loam	有铁锰结核 Fe & Mn concretion		
	103 ~ 130	灰黄褐色 (10 YR6/ 2)	棱块状 Block	重壤 Heavy loam	有铁锰结核 Fe & Mn concretion		
	130 ~ 155	褐灰色 (10 YR5/ 1)	棱块状 Block	重壤 Heavy loam	有铁锰结核 Fe & Mn concretion		
	155 ~ 180	灰黄褐色 (10 YR6/ 2)	棱块状 Block	重壤 Heavy loam	少量铁锰结核 Few Fe & Mn concretion		
	180 ~ 200	黄棕色 (10 YR4/ 6)	棱块状 Block	轻粘 Light clay	少量铁锰结核 Few Fe & Mn concretion		

### 2.3 土壤剖面中植硅体的分布特征

水稻是喜硅的作物,含硅(Si)量达5%~20%,而燕麦、小麦和大麦等只有2%~4%。高硅含量是水稻对生物的和非生物的胁迫具有高抗性的物质基础。水稻的硅酸体(SiO<sub>2</sub>)是外皮细胞壁模板诱导下形成的扇型(或哑铃型)植硅体,图1是绰墩遗址P-01整段剖面中100~116 cm层位上(埋藏的马家滨时期古水稻土的表土层)分离鉴定的水稻植硅体(图中标尺为25 μm)。这个有特定形状的植硅体是高稳定、抗风化的。水稻运动细胞植硅体已被考古学家作为鉴定判别有古水稻生长的特殊指示物<sup>[8,16]</sup>。他们建议,在每克土壤植硅体含量大于5 000颗,可确认该地曾种植过水稻。表3列出了P-01和P-03整段剖面中各种植硅体的分布与含量。在P-01剖面中,凡是从土壤结构、颜色、新生体及植物残留判断为古水稻土的层次(见表1),水稻植硅体的含量均在12 000~60 000颗g<sup>-1</sup>土之间,远超过5 000颗的指标,从而认定其为曾种植水稻的古稻田和古水稻土层。其他在田间判断为非水稻土的土

层中水稻植硅体含量则均低于5 000颗g<sup>-1</sup>的指标或根本未发现水稻植硅体,故可认定这些土层为非水稻土发育的土层,是旱地或荒地(例如在P-03整段剖面的103 cm以下各层)。

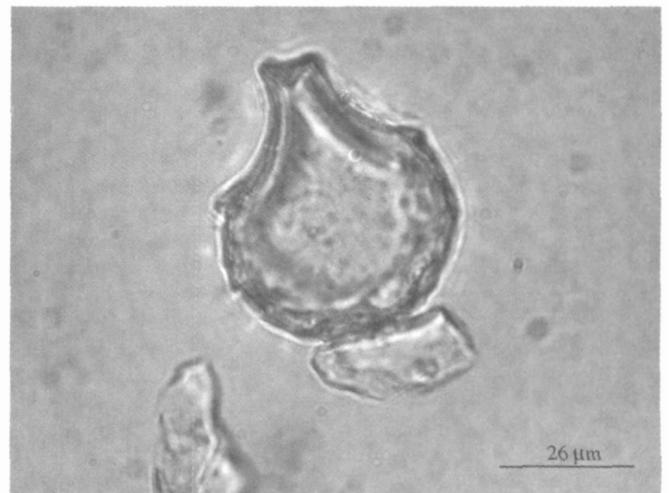


图1 绰墩古水稻土分离鉴定的扇形型水稻植硅体  
Fig. 1 Fan type rice opal isolated from ancient paddy soil at Chuodun site

表 3 绰墩遗址 P-01 和 P-03 剖面各层土壤水稻植硅体含量

Table 3 Plant opal contents (No.  $g^{-1}$  soil) in various layer of soil in profiles ,No. 1 and No. 3 ,at Chuodun site

剖面 Profile	深度 Depth (cm)	水稻 <i>Oryza sativa</i> L.	芦苇 <i>Phragmites communis</i>	芒属 <i>Miscanthus sinensis</i>	竹亚科 <i>Banbusaceae</i>	黍科 <i>Sorgo family</i>	
P-01	0~15	19 476	1 025	15 376	7 175	3 075	
	15~22	17 093	0	23 930	4 558	1 140	
	22~42	14 147	0	19 806	3 773	1 886	
	42~57	25 271	8 748	31 102	8 748	0	
	57~75	11 477	956	13 390	956	0	
	75~100	3 542	885	20 366	0	1 771	
	100~116	105 159	0	6 632	0	0	
	116~130	64 007	2 371	33 189	0	2 371	
	130~150	17 327	1 238	17 237	0	1 238	
	150~160	19 678	2 952	17 711	0	0	
	160~174	0	4 337	18 431	0	0	
	174~200	0	0	1 009	0	0	
	P-03	0~13	15 425	1 028	7 198	3 085	0
		13~23	7 646	3 277	12 016	4 369	0
23~40		4 919	1 968	7 671	6 887	984	
40~50		7 008	3 003	11 012	2 002	1 001	
50~60		15 306	3 601	9 004	2 701	0	
60~88		1 897	949	4 744	0	0	
88~103		1 795	697	3 489	0	0	
103~130		0	0	0	0	0	
130~155		0	1 968	3 936	0	0	
155~180		0	0	3 295	0	0	
180~200		0	0	0	0	0	

#### 2.4 古炭化稻粒和古水稻土的 $^{14}C$ 定年

应用液体闪烁分析仪 $^{14}C$ 技术测定了炭化稻、土壤有机碳的 $^{14}C$ 丰度来推算炭化稻和古水稻土的年龄。P-01剖面的100~116 cm土层(第二个埋藏古水稻土剖面的表层)出土的炭化稻的年龄为5 907 a BP(表4),与考古部门根据出土陶器判断的出土水稻田是马家滨文化时期(6 000 a BP左右)的稻作文明的结论吻合。对P-01剖面相关各层土壤有机质 $^{14}C$ 定年的测定结果表明(表4),P-01剖面上第一个埋藏古水稻土剖面的表层(42~57 cm)大约形成于3 320 a BP前后,是马桥文化至商朝初期。当时江南一带的社会经济尚不发达(至少有文字记载的甚少),但稻作农业已经兴起<sup>[22]</sup>。P-01剖面上第二个埋藏古水稻土剖面的表层(100~116 cm)的年龄为6 280 a左右,属于新石器时期的文化(马家滨文化)。这个年龄较在浙江余姚河姆渡发现的7 000 a左右的稻作农业<sup>[5,6]</sup>要晚一些,应该都是稻作文明的开创时期。但发掘出土的水稻田面积只有5~6 m<sup>2</sup>左右,以及除灌溉用的陶罐或陶盆外没有发现大型耕作农具的事实,表明绰墩遗址的先民还刚处于渔猎

向农耕过渡的时代。以小型石器或木器为主要工具的“火耕水耨”的稻作农业<sup>[7~11]</sup>的水稻产量当然是不高的,必须有渔猎或采集来补充群居的先民们对粮食的需求<sup>[7~9,22]</sup>。

#### 2.5 马家滨时期炭化稻粒的形态学研究

古灌溉稻田淘洗出很多炭化稻粒(1 000多粒),如编号为S-27的古水稻田取0.04 m<sup>3</sup>的表土中就淘洗出200多粒。

目前鉴定古水稻类型方法主要有粒型判别法(可信度60%)、水稻植硅体形状判别法(可信度90%)、稻谷外稃双峰乳分析法(有较高的分辨率)和叶绿体DNA分析法(可信度95%)<sup>[8,27~29]</sup>。我们采用高倍立体显微镜结合扫描电子显微镜观察研究炭化稻粒的外稃、稃毛、胚乳、护颖、小梗、双峰乳突等古水稻的形态特征。测量计算了炭化稻粒的长、宽、厚变幅等。结果表明,炭化稻粒的形态特征属于粳稻类型,外形以椭圆形为主(图2~图4),平均大小为:长4.39 mm(3.52~5.26 mm,  $n=45$ ),宽(幅)2.51 mm(1.90~3.29 mm,  $n=45$ ),厚1.83 mm(1.24~2.58 mm,  $n=45$ )。长宽(幅)比值平均为1.74~1.84。炭化稻

粒的长、宽(幅)、厚的变异较大,变异系数(CV)分别为 8.314%、11.97%和 12.65%,而一般野生稻的变

异是比较小的<sup>[27,28]</sup>,表明这些炭化稻谷已经是人工栽培的。

表 4 绰墩遗址古水稻土剖面(P-01)土壤有机碳和炭化稻<sup>14</sup>C 定年结果

Table 4 <sup>14</sup>C dating of soil organic matter and carbonized rice grains collected from profile No. 1 at Chuodun site

土层深度 Depth of soil layer (cm)	样品种类 Type of sample	<sup>14</sup> C 测定结果 Results of <sup>14</sup> C dating (a BP)	校正年龄 Years after emendation (a)	
			BC	BP
42~57	土壤有机质	3 058 ±176	1 371	3 320
75~100	土壤有机质	4 624 ±143	3 369	5 318
100~116	土壤有机质	5 450 ±147	4 331	6 280
150~200	土壤有机质	5 187 ±186	3 979	5 928
100~116	炭化稻粒	5 123 ±45	3 958	5 907

Soil organic matter; Carbonized rice grains

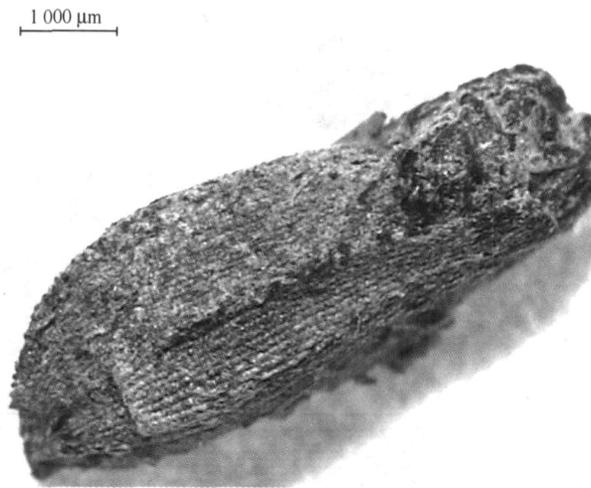


图 2 绰墩遗址古水稻田中得到的炭化稻粒外形:  
稃面方格和稃毛——典型的粳稻型稻粒(立体显微镜,放大 10 倍)

Fig. 2 Morphological observation of carbonized rice grain discovered in the ancient paddy fields at Chuodun site by stereomicroscope ( $\times 10$ ):  
Lemma pane and Lemma hair, characteristics of typical *Japonica* rice grain

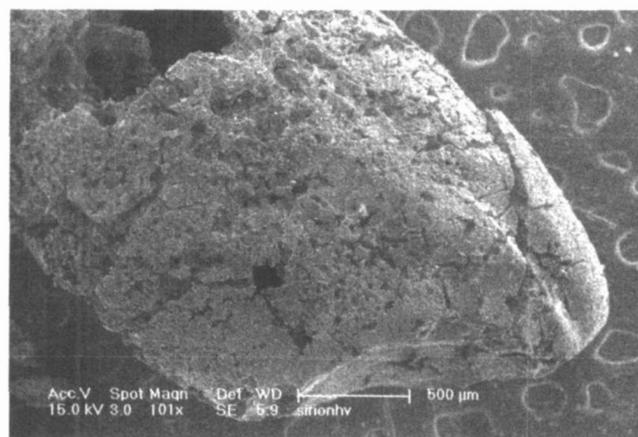


图 3 绰墩遗址古水稻田中得到的炭化稻(扫描电子显微镜,放大 100 倍)

Fig. 3 Morphological observation of carbonized rice grain discovered in the ancient paddy fields at Chuodun site by scanning electron microscope ( $\times 100$ )

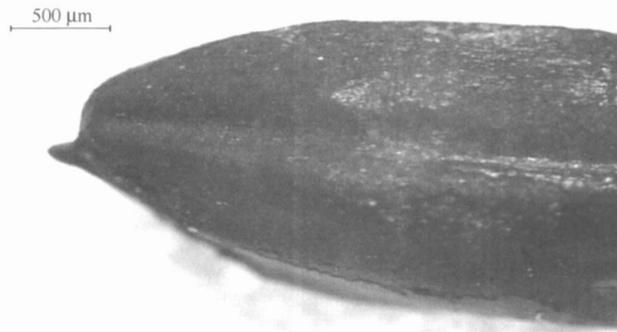


图4 绰墩遗址古水稻田中得到的炭化稻粒顶端残留有稻芒的基部,“钝形”的双峰乳突、浅而平展的凹陷乳沟——粳稻的特征(立体显微镜,放大10倍)

Fig. 4 Morphological observation of carbonized rice grain discovered in the ancient paddy fields at Chuodun site by stereomicroscope ( $\times 10$ ): Base part of rice awn, blunt two humped mastoid, shallow flat depressed cleavage, characteristics of *Japonica* rice grain

放大10倍的炭化稻的立体显微镜照片(图2)可见到清晰的外稃、稃面上的方格条纹和部分稃毛。绰墩遗址马家滨时期炭化稻谷的这些形态特征与丁颖<sup>[30]</sup>报道的1953年在洛阳汉墓(公元25~219年)出土的稻谷的特征相同。此外,100倍电镜观测到炭化稻残存的胚乳和护颖,但未见小梗(图3),显然它们不是自然凋落而是人为采收时脱落的。谷粒表面的双峰乳突是“钝形”的、乳沟凹陷浅而平展、椭圆形的外貌(图3)和顶端有遗存的稻芒(图4)等均显示出其粳稻的特征<sup>[8,22,28,30]</sup>。这些观测结果支持了丁颖<sup>[30]</sup>关于“我国长江流域与黄河流域古代最初栽培的水稻都是粳稻型品种”的论点。

### 3 结论

1) 绰墩遗址马家滨文化层(距地表100~160 cm)发掘出土的古田块的结构、空间布局和田埂、灌排水口、水沟、水井等灌溉系统,及灌溉用具——陶罐和陶盆的发现;出土炭化稻和土壤中水稻植硅体的鉴定和计量,结合田块面积、形状的考查结果等等都得到了发现的是马家滨文化时期的灌溉稻田的结论。经<sup>14</sup>C测定,属于6280 a BP的新石器时期的产物,与根据器物考古鉴定的年代相吻合。

2) 对该遗址P-01和P-03两个剖面的形态、结构的研究,结合水稻植硅体的鉴定结果(含量均在12000~60000颗 $g^{-1}$ 土之间)后确认在P-01剖面上存在两个时期的古水稻土埋藏剖面(42~100 cm—3320 a BP的马桥文化-商朝初期的古水稻土和100~160 cm—6280 a BP的马家滨时期的古水稻土),也佐证了长江三角洲地区古代曾有过几次大的

洪水泛滥导致人类耕作活动中断的气候变化事件。而相距仅15 m左右的P-03剖面上却只存在一个马桥-商朝初期的古水稻土埋藏剖面(40~103 cm),没有出现马家滨时期的古水稻土剖面,是当时生产力低下及古地貌局部差异导致了不同土地利用方式的结果。

3) 对该遗址出土炭化稻谷的高倍立体显微镜和扫描电镜的形态观测结果:椭圆形的粒型,变异较大的长幅(宽)比,方格结构的稃面、周边的稃毛,残留的稻芒,没有小梗的基部护颖,“钝形”的双峰乳突和浅平凹陷的乳沟都表明该炭化稻已属人工栽培的粳型水稻。这些结果与丁颖20世纪50年代在黄河流域发现的汉代的炭化稻粒特征基本一致。结果有力地支持了关于“我国长江流域与黄河流域古代最初栽培的水稻都是粳稻型品种”的论点。

致谢 作者对江苏省苏州市农业环境监测站王梅农先生等、以及昆山市文物管理研究所管凤良和赵坤元先生等在遗址古水稻田和古水稻土剖面发掘过程中给予的协助和支持以及很多研究生的参与和劳动表示衷心感谢。

### 参考文献

- [1] 严文明. 农业发展与文明起源. 北京: 科学出版社, 2000. 137~147. Yan W M. Agriculture Development and the Origin of Civilization (In Chinese). Beijing: Science Press, 2000. 137~147
- [2] 林蒲田. 中国古代土壤分类与土地利用. 北京: 科学出版社, 1996. 1~80. Lin P T. Soil Classification and Land Use in Ancient China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1996. 1~80
- [3] 龚子同, 刘良梧, 张甘霖. 苏南昆山地区全新世土壤与环境. 土壤学报, 2002, 39(5): 618~626. Gong Z T, Liu L W, Zhang GL. Holocene soils and environment in Kunshan region, south Jiangsu (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(5): 618~626
- [4] 苏州博物馆. 江苏昆山绰墩遗址第一至第五次发掘简报. 东

- 南文化,2003(1):1~41. Suzhou Museum. Briefing on the first-fifth excavation at Chuodun site in Kunshan of Jiangsu Province (In Chinese). Southeast Culture,2003(1):1~41
- [5] 邵九华. 河姆渡——中华远古文化之光. 北京:中国大百科全书出版社,1998. 62~65,111~128. Shao J H. Hemudu—The Bright of Chinese Ancient Culture (In Chinese). Beijing: Chinese Great Encyclopedia Press,1998. 62~65,111~128
- [6] 丁金龙. 长江下游新石器时代水稻田与稻作农业的起源. 东南文化,2004(2):19~31. Ding J L. Origin of Neolithic paddy fields and rice farming in the lower reaches of Yangtze River (In Chinese). Southeast Culture,2004(2):19~31
- [7] 谷建祥. 埤墩移植马家滨文化时期水稻田. 东南文化,2003(1):42~45. Gu J X. Neolithic paddy fields at Chuodun site (In Chinese). Southeast Culture,2003(1):42~45
- [8] 汤陵华. 埤墩遗址的原始稻作遗存. 东南文化,2003(1):46~49. Tang L H. Primitive rice cultivation remains at Chuodun site (In Chinese). Southeast Culture,2003(1):46~49
- [9] 卢佳,胡正义,曹志洪,等. 长江三角洲埤墩遗址埋藏古水稻土肥力特征研究. 中国农业科学,2006,39(1):109~117. Lu J, Hu Z Y, Cao Z H, et al. Characteristics of soil fertility of buried ancient paddy at Chuodun site in Yangtze River Delta (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica,2006,39(1):109~117
- [10] Cao Z H, Ding J L, Hu Z Y, et al. Ancient paddy soils from the Neolithic age in Yangtze River Delta. Naturwissenschaften,2006,93:232~236
- [11] 申卫收,尹睿,林先贵,等. 埤墩山遗址古水稻土的一些微生物学特性研究. 土壤学报,2006,43(5):814~820. Shen W S, Yin R, Lin X G, et al. Microbiological properties of an ancient paddy soil discovered in Chuodun Relics of Kunshan, China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica,2006,43(5):814~820
- [12] 李春海,章钢娅,杨林章,等. 埤墩遗址古水稻土孢粉学特征的初步研究. 土壤学报,2006,43(3):452~460. Li C H, Zhang G Y, Yang L Z, et al. Pollen evidence for ancient paddy fields at Chuodun site (In Chinese). Acta Pedologica Sinica,2006,43(3):452~460
- [13] 李久海,董元华,曹志洪,等. 古水稻土中多环芳烃的分布特征及其来源判定. 环境科学,2006,27(6):1235~1239. Li J H, Dong Y H, Cao Z H, et al. Distribution characteristics and sources identification of PAHs in ancient paddy soil (In Chinese). Chinese Journal of Environmental Science,2006,27(6):1235~1239
- [14] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社,1999. 146~248. Lu R K. ed. Analytical Methods of Soil and Agro-Chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press,1999. 146~248
- [15] 刘光松主编. 土壤理化分析与剖面描述. 北京:中国标准出版社,1996. 24~43,96~104. Liu G S. ed. Soil Physical and Chemical Analysis and Description of Soil Profiles (In Chinese). Beijing: Standards Press of China,1996. 24~43,96~104
- [16] Hiroshi F. Fundamental studies of plant opal analysis (1)—On the silica bodies of motor cell of rice plants and their relatives and the method of quantitative analysis (In Japanese). Archaeology and Nature Science,1976(9):15~29
- [17] 仇士华主编. 中国<sup>14</sup>C年代学研究. 北京:科学出版社,1990. 25~39. Chou S H. ed. China <sup>14</sup>C Chronology Study (In Chinese). Beijing: Science Press,1990. 25~39
- [18] Greenland D J. The Sustainability of Rice Farming. London: CAB International Publication in Association with the International Rice Research Institute,1998. 23~28
- [19] 张治天. 精密磁测(GPM)技术对埤墩遗址部分区域的探测. 东南文化,2003(1):103~106. Zhang Z T. Application of GPM techniques in excavation of some part of Chuodun site (In Chinese). Southeast Culture,2003(1):103~106
- [20] 曹升庚. 水稻土微形态特征. 见:李庆远主编. 中国水稻土. 北京:科学出版社,1992. 56~76. Cao S G. Micro-morphological characteristics of paddy soils (In Chinese). In: Li Q K. ed. Paddy Soils of China. Beijing: Science Press,1992. 56~76
- [21] Bammer H. Coating in seasonally flooding soils. Geoderma,1971,6(1):5~16
- [22] 游修龄. 中国稻作史. 北京:中国农业出版社,1995. 43~57,209~215. You X L. History of Chinese Rice Culture (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press,1995. 43~57,209~215
- [23] 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. Yu S Y, Zhu C, Qu W Z. Mid-Holocene climatic transition and rapid interruption in Neolithic cultures in the Eastern Plain of Taihu Lake (In Chinese). Scientia Geographica Sinica,1999,19(6):549~554
- [24] 王靖泰,汪品先. 中国东部晚更新世以来海面升降与气候变化的关系. 地理学报,1980,35(4):299~311. Wang J T, Wang P X. Sea level elevation and subsidence in relation to climate change since late Pleistocene epoch in East China (In Chinese). Acta Geographica Sinica,1980,35(4):299~311
- [25] Zhang Q, Jiang T, Shi Y F, et al. Paleoenvironmental changes in the Yangtze Delta during past 8 000 years. Journal of Geographical Sciences,2004,14(1):105~112
- [26] Zhang Q, Zhu C, Liu C L, et al. Environmental change and its impacts on human settlement in the Yangtze Delta, P. R. China. Catena,2005,60:267~277
- [27] 潘熙淦,饶宪章. 江西东乡野生稻考察及特性鉴定报告. 见:吴妙麟主编. 野生稻资源研究论文选编. 北京:中国科学技术出版社,1990. 11~17. Pan X G, Rao X Z. A survey and identification of wild rice growing in Dongxiang County, Jiangxi (In Chinese). In: Wu M C. ed. Selected Papers on Wild Rice Resources in China. Beijing: China Science and Technology Press,1990. 11~17
- [28] 张文褚. 河姆渡出土稻谷外稃表面双峰乳的研究. 见:中国农业大学. 中国栽培稻起源与演化研究专集. 北京:中国农业大学出版社,1996. 42~46. Zhang W C. Study on two humped mastoid of carbonized rice grain excavated at Hemudu site (In Chinese). In: China Agricultural University. Special Publication on the Origin and Evolution of Rice Cultivation. Beijing: China Agricultural University Press,1996. 42~46
- [29] Nakamura I, Chen W B, Sato Y I. Analysis of Chloroplast DNA from ancient rice seeds. Annual Report of National Institute of Genetics, Japan,1991,2:108~109
- [30] 丁颖. 江汉平原新石器时代红烧土中的稻谷壳考查. 考古学报,1959(4):11~15. Ding Y. Study on rice grain and hull remained

## MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PADDY FIELDS, PADDY SOIL PROFILE, PHYTOLITH AND FOSSIL RICE GRAIN OF THE NEOLITHIC AGE IN YANGTZE RIVER DELTA

Cao Zhihong<sup>1†</sup> Yang Linzhang<sup>1</sup> Lin Xiangui<sup>1</sup> Hu Zhengyi<sup>1</sup> Dong Yuanhua<sup>1</sup> Zhang Gangya<sup>1</sup> Lu Yanchun<sup>1</sup>  
Yin Rui<sup>1</sup> Wu Yanhong<sup>2</sup> Ding Jinlong<sup>3</sup> Zheng Yunfei<sup>4</sup>

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China*)

(2 *Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China*)

(3 *Suzhou Museum, Suzhou, Jiangsu 215001, China*)

(4 *Zhejiang Cultural Relics and Archaeology Institute, Hangzhou 310014, China*)

**Abstract** During the 6th excavation of Chuodun site (E120 50 41 ,N 31 24 07) ,22 pieces of prehistoric farming lands were discovered within 300 m<sup>2</sup>. Each field was surrounded with bands in between ,and ditches or water pools (wells) constructed for irrigation ,and some pots wearers (belong to Majiabang culture periods) for water transfer from ditch to field were found in these ditches or fields ;more 1 000 fossil rice grains were screened out ,and about 10 to 60 thousands rice phytolith (opal) per gram soil were detected in these ancient lands ,all facts above are strong proof indicating these small piece of ancient lands were irrigated paddy fields for rice cultivation by ancient human beings settled in this site. The age of these paddy fields were about 5 907 a BP to 6 280 a BP determined by <sup>14</sup>C analysis. It is in Neolithic period and in agreement with Majiabang culture period identified by archaeological method. The small size of each field which only 0.4 m<sup>2</sup> to 16 m<sup>2</sup> and various shape etc. morphological characteristics were reflect the very low production capacity at that time.

A soil monolith (P-01) was studied and described ,results indicated that there were two buried paddy soil profile piled together. One is prehistoric paddy profile with age of 6 280 a BP (Majiabang cultural period) in the layer of 103 ~ 200 cm depth and the other was ancient paddy profile with age of 3 320 a BP (about Maqiao cultural periods to Early Shang dynasty period) in the layer of 42 ~ 103 cm depth. It proved that there were several times of flooding or sea water invade resulting to break off agricultural civilization. Another monolith (P-03) only 15 m apart from the above monolith (P-01) ,but it was not found the prehistoric paddy profile in the layer of 103 ~ 200 cm depth indicating early human beings settled in Chuodun site during that periods had no capacity to use hill land for rice planting yet ,because of P-03 monolith was located at the foot of Chuodun hills ,they had no technology to level it to construct terrace for rice planting ,while the same buried paddy profile in the layer of 40 ~ 103 cm aged as Maqiao cultural period to Early Shang dynasty period was there same as in P-01. Both buried paddy soils have developed most of the typical characteristics of modern paddy soils.

SEM and stereomicroscope used to observe the morphological characteristics of fossil rice grain. They are oval shape ,bigger changes of length-width ratio ,with lemma pane structure and lemma hair ,remained base part of rice awn ,blunt two humped mastoid ,shallow flat depressed cleavage etc. all indicating an early cultivated rice characteristics and belong to *Japonica* rice type (Jin Dao) . It is similar to the carbonized rice grain discovered in Han Tombs located in middle riches of Yellow River by Ding Yin in 1950 's ,it strong supports his point of view: "the beginning of rice culture in both Yangtze River Delta and Yellow River Valley were started from *Japonica* rice (Jin Dao) ".

**Key words** Buried ancient paddy fields ;Ancient paddy soil ;Neolithic periods ;Rice opal ;Cultivated *Japonica* rice ;<sup>14</sup>C dating