

上海松江区广富林遗址良渚时期人骨 微量元素的初步研究

张全超¹ 汪 洋² 翟 杨³

(1.吉林大学边疆考古研究中心 吉林长春 130012

2.上海大学 上海 200436 3.上海博物馆考古部 上海 200003)

内容提要:近几十年来,古代人群的食谱研究已经成为现代科技考古学的一个重要组成部分,也是当前国际科技考古学研究领域的一项前沿性课题。人类骨骼的化学元素分析为重建古代居民的食谱提供了大量信息。采用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-AES)对上海松江区广富林遗址良渚时期出土人骨中的Ba、Ca、Mg、Mn、P、Sr、Zn等7种化学元素测定的结果显示:发达的稻作业为该组居民提供了充足的植物性食物;而水网密集的周边环境同时又为该时期居民提供了丰富水产品,从而极大地补充了其蛋白质的摄入。

关键词:广富林遗址 良渚时期 人骨 元素分析

中图分类号:K871.13 **文献标识码:**A

广富林遗址于1959年文物普查时被发现,位于上海市松江区方松街道广富林村(原为松江区余山镇广富林村),遗址地势平坦、开阔,海拔仅2~3米左右,周围环绕着许多小山峰,西北有余山、辰山、天马山,西面有横云山。1961年试掘该遗址时共发现2座良渚文化墓葬和一些春秋战国时期的文化遗存^[1],经确认这是一处包含多个文化时期的古遗址。1999~2003年,上海博物馆考古研究部对广富林遗址进行了全面的勘探和发掘,发掘采用象限法,将遗址分为、、、共四个小的分区,1999~2001年发掘集中在遗址的第、区,2003年的发掘重点又转移到第区。通过数年的考古发掘,对广富林遗址有了更加清晰、全面的认识,遗址主要包含良渚文化墓地和广富林文化生活居址。其中,良渚文化墓地是这个时期考古发掘的重要收获,共发掘墓葬31座,其中第区25座,编号M1~M25,第区6座,编号M26~M31。广富林

遗址良渚文化时期各个墓葬之间存在许多共同特点,如墓坑为土坑竖穴式,墓口长约2、宽约0.6米,皆为单人墓。有的墓葬还发现有凹形独木棺葬具,内外髹朱漆。墓向都为西南向,角度在200°左右。随葬品数量不多,通常在20件以内,且多为陶器、石质工具和骨器,个别墓葬还随葬小件玉质装饰品。随葬品数量、等级差别不大。葬式多为仰身直肢,还有些墓葬发生了人骨错位的现象,表现为墓主人的肋骨、脊椎骨脱离解剖学位置,凌乱地摆放在墓主人的胸部。在发掘过程中,没有发现墓葬下葬以后被人力或自然力扰动迹象。据此推测,当时一些人去世后尸体被停放了一段时间,后来下葬时造成了骨骼摆放错位的现象^[2]。此次发掘的墓葬人骨保存均比较完好,为我们系统地研究良渚文化时期居民的体质特征、健康状况、饮食结构等课题提供了丰富的骨骼样本,也为进一步推测当时人类的生活方式、生存环境以及社会地位与食

收稿日期 2009-10-28

作者简介 张全超(1977~),男,吉林大学边疆考古研究中心副教授,博士,主要研究方向:生物考古学、体质人类学。

汪 洋(1972~),女,上海大学讲师,主要研究方向:文化遗产传播。

翟 杨(1973~),男,上海博物馆副研究馆员,主要研究方向:新石器时代考古。

基金项目 本文的研究得到了上海博物馆科研基金、教育部规划项目“长江下游史前人类体质及文化适应研究”(09YJC780004)、吉林大学基本科研业务费资助项目(2008JC004)以及国家基础科学人才培养基金项目(J0030094)的资助。

表一// 试验材料来源

试验编号	墓葬编号	部 位
1	M3	股骨中段
2	M6	股骨中段
3	M9	股骨中段
4	M11	股骨中段
5	M15	股骨中段
6	M16	股骨中段
7	M18	股骨中段
8	M21	股骨中段
9	M24	股骨中段

物的关系等提供了一个新的线索和研究视角。

骨骼当中无机质的主要组成成分为羟磷灰石, 而羟磷灰石中的微量元素又是人类饮食结构的潜在表现物, 人类活体骨骼中微量元素的含量是饮食中微量元素的最好体现, 而被埋葬的骨骼经过长期的沉积作用后骨骼中微量元素变化较小,是其生前获得各种微量元素的合理反映^[3]。因此,分析人体骨骼内羟磷灰石中的微量元素,是复原古代人类食物结构的一个重要方法。电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-AES)具有灵敏度高、动态范围宽、相对干扰小、可同时测定多种元素等优点,适用于古代人骨中多元素的快速测定,因而得到广泛应用, 本文采用ICP-AES法对上海市松江

区广富林遗址良渚时期出土人骨中的微量元素进行了测定和初步研究, 其结果为进一步研究上海地区古代人群的食谱结构提供了科学的参考依据。

一 实验材料与测试方法

1. 实验材料

试验室所采用的人骨材料全部来自于广富林遗址良渚时期的墓葬。所用的分析样品均采自人体骨骼标本的股骨中段,分属于9例个体。具体资料见表一。

2. 仪器与工作条件

ICP/1000型电感耦合等离子发射光谱仪(美国PE公司),超声波清洗器,烘箱,工作条件见表二。韩国STRONGER公司生产的打磨机, 美国WARING公司生产的Waring Blandor。

3. 试剂及标准溶液

试验所用的硝酸、盐酸均为优级纯。各元素采用的标准溶液均为国家标准储备液(NCS),浓度为1毫克/毫升,用时逐级稀释。生物标准参考物质为国家标准物质研究中心提供的人发(编号G.B.W07601)。实验过程中所使用的全部玻璃仪器均经过10%硝酸浸泡24小时,再用蒸馏水冲洗,干燥备用。实验过程中的用水均采用二次去离子水。

4. 样品处理

选取广富林出土骨骼的股骨干中段锯取约3厘米³, 先采用无菌刀片和毛刷除去骨骼表面的污垢,再用灭菌石英砂打磨骨骼样品的表面,然后用韩国STRONGER公司生产的打磨机打去骨骼样

表二// 仪器的工作条件

入射功率(kw)	频率(MHz)	冷却气流量(L/min)	载气流量(L/min)	辅助气流量(L/min)	样品提升量(ml/min)	观测高度(mm)	积分时间(s)
1.0	27.14	15.0	1.0	1.0	1.0	15.0	0.1

表三// 元素的分析线与检出限

元素	Ba	Ca	Mg	Mn	P	Sr	Zn
波长(nm)	455.4	317.9	279.6	257.6	214.9	407.8	213.9
检出限(mg/l)	0.002	0.03	0.006	0.002	0.20	0.0003	0.01

表四// 准确度检验结果(μg/g)

元素	Ba	Ca	Mg	Mn	P	Sr	Zn
测定值	16.7	2900	370	6.1	156	22	200
标准值	17	2900	360	6.3	170	24	190

品表面2~3毫米，以上处理步骤均在无菌超净空间中完成,操作者戴一次性手套和无菌套袖。将处理好的骨骼样品放入Waring Blandor中打制成骨粉，在分析天平上准确称取0.5000克骨粉置于50毫升的烧杯中,加入硝酸5毫升、盐酸1毫升浸泡过夜,次日在可调电热板上,于通风橱内加热至溶液全清时取出,冷却至室温,定容至25毫升,待测。同时做空白对照。

二 测试结果

1. 分析线与检出限

为了检验测试仪器的工作条件，表三列出各种元素的分析线与检出限值。结果显示测试仪器条件正常^[4]。

2. 准确度

为了进一步验证实验方法的准确性，本次试验选择采用国家标准人发样品（G.B.W07601）进行了验证性实验,试验结果见表四,结果表明测定值与标准值吻合情况较好^[5],证明本次实验方法的准确可靠。

3. 测定结果

利用电感耦合等离子发射光谱仪ICP-AES测定了9例骨骼样品中的钡(Ba)、钙(Ca)、镁(Mg)、锰(Mn)、磷(P)、锶(Sr)、锌(Zn)等7种微量元素的含量,结果见表五。

三 骨骼污染情况检验

古代食谱研究的一个主要的障碍就是古代骨

骼样品的污染问题，由于骨骼样品经历了漫长的岁月,很大程度受到土壤中PH、酸度、温度以及各类微生物等诸多因素的影响，使其本身的化学构成与生物学特性不断发生改变，这就是骨骼的污染过程,又被称作骨骼的成岩作用^[6]。因此,对古代骨骼样品污染的分析 and 判断，已经成为古代人群食谱研究的一项重要的前提条件。

1. Ca / P值检验

一般来说，通过分析骨骼样品中结构的完整性,可以对骨骼样品的污染程度作出初步的判断,而骨骼羟磷灰石中的Ca / P则是检验羟磷灰石结构是否具有完整性的一个重要指标。研究表明:如果Ca / P的理论值在2.15左右，分布范围介于2.00~2.29之间,可以被视为未经外源性污染或污染程度较轻^[7]。表六显示了骨骼检测样品中的Ca / P值，除3号和9号样本的Ca / P值超出了污染范围,其他检测结果均较为理想,处于有效检测范围内。

2. 土壤混杂和微生物侵蚀检验

样品中的土壤混杂是一个较为普遍存在的现象。生活在土壤当中的各种微生物,能够通过自身的新陈代谢来富集某些元素，从而改变骨骼中的化学成分组成，进而造成骨样的化学污染,Ba能够被微生物从外界环境中运输到骨骼当中,与Mn形成钡锰氧化物沉积在骨骼中,造成了骨骼中Ba的富集。研究表明,Ba与Mn之间的密切程度是判

表五// 广富林人骨的分析样品中各微量元素含量

实验编号	Ba μg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Mn μg/g	P mg/g	Sr μg/g	Zn μg/g
1	63.22	356.82	1.61	2.53	165.75	367.97	327.37
2	60.55	352.45	1.53	1.94	170.66	393.83	291.46
3	63.75	100.99	1.67	2.89	146.96	186.89	312.94
4	106.80	336.67	1.99	2.01	154.38	296.39	651.22
5	66.08	338.85	1.69	2.40	158.46	365.49	237.01
6	84.02	332.25	2.06	2.10	161.96	372.62	341.80
7	45.65	332.42	1.52	3.61	149.42	299.74	284.01
8	50.09	330.62	1.74	1.99	149.36	322.64	323.22
9	66.03	354.45	1.82	2.01	145.36	380.97	367.23

表六// 检测样品的 Ca/P 值

试验编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ca/P	2.15	2.07	0.69	2.18	2.14	2.05	2.22	2.21	2.44

表七// 广富林人骨的分析样品中各微量元素含量平均值

	Ba μg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Mn μg/g	P mg/g	Sr μg/g	Zn μg/g
平均值	68.06	340.01	1.73	2.37	158.57	345.53	350.87

断骨骼微生物污染与否的一项重要指标，如果二者之间的关系越密切则骨骼受到微生物污染的程度越深^[10]。通过对广富林骨骼样品中Ba、Mn的相关性检验，我们发现两者并不具有相关性（ $\lambda=-.467, p>0.05$ ）。表明这批样品未受到过微生物的侵蚀。

3.测定结果的平均值

通过上述Ca/P值检验和土壤混杂、微生物侵蚀检验,我们排除掉3号和9号检测样品,计算出广富林组分析样品中各微量元素含量的平均值（表七）。

四 广富林遗址良渚时期古人类的食谱分析
锶元素在人体内总含量的99%都富集于骨骼之中^[9],是研究古人类生活环境和食物结构非常理想的微量元素之一,骨骼是锶元素的标示器官, Sr/Ca比值的差别一直被用作评价食物中“肉类/植物”(meat / plant)的标准。经过多年的研究发现, Sr/Ca值常常被作为研究人类食物结构指标的判断依据,当食物被吸收时,食物中的钙得到充分地吸收,而食物中锶的吸收就要差得多,这可能是与从钙到锶,其离子半径逐渐变大有关,从而导致了在人体消化道当中的吸收作用逐渐降低。这样当沿着食物链营养级的升高的时候, Sr/Ca值就会出现越来越小的趋势^[10]。现代欧美人饮食中锶的来源主要是各种肉类和乳制品, Sr/Ca值为0.050~0.063;广西崇左县冲塘新石器时代人骨Sr/Ca值为0.368^[11];甘肃酒泉干骨崖青铜时代前期人骨Sr/Ca值为0.26;甘肃酒泉干骨崖青铜时代后期人骨Sr/Ca值为0.38^[12];姜家梁新石器时代遗址人骨Sr/Ca值为0.927^[13],上海青浦崧泽遗址崧泽文化时期人骨Sr/Ca值较高,为0.96^[14];而广富林遗址良渚时期古人类的Sr/Ca平均值为1.02(表八)。

通过表八的比较分析我们发现，以肉食类为饮食主体的现代欧美人Sr/Ca值最小,处于比较高的营养级，而长江下游环太湖地区的崧泽文化和良渚文化古人类的Sr/Ca值较大,尤其是广富林遗址良渚居民Sr/Ca值超过了相比较的各个对比组，表明该组居民所处营养级偏低，植物性的食物应该是该组居民饮食结构的主体。面临从崧泽文化晚期至良渚文化早期日益缺乏的野生食物资源，

环太湖地区古代居民必然要通过加强稻作农业生产，以提高粮食产量。而古食谱分析的结果也显示,崧泽遗址人骨中Sr/Ca值已高达0.96,甚至超过了许多农业社会居民骨骼中锶钙的比率，反映了崧泽文化晚期稻米在食物结构中已经占有相当比重。而广富林遗址良渚时期人骨Sr/Ca值更是高达1.02，显示出从崧泽文化到良渚文化的发展过程中,人们食物结构中稻米的主导地位不断加强。

从广富林遗址良渚文化时期的植硅石组合特征上来看:硅藻类化石数量已明显减少,植硅体组合中棒型、刺棒型相对增多,莎草科植硅体也大量减少，哑铃型植硅体和水稻稻壳含量在上部样品中开始增加，而水稻扇型的含量则达到5%以上。从植硅体组合特征所反映的气候比生土层明显变凉,湿度则相对减小。在广富林遗址该时期的样品中出现了大量稻壳型的植硅体样品，特别是典型的水稻稻壳型和一般壳类植硅体含量达到20%以上,反映出当时水稻种植已十分广泛与密集,并出现在水稻收获季节古代先民们采用集中脱粒、收藏和焚烧秸秆等一系列活动，从而导致了稻壳型植硅体含量的不断升高^[15];孢粉分析的结果显示：良渚文化时期,广富林遗址附近生长着枫香、木兰科植物、桑科、栲、栎等多种植物,表明这个时期植被分布仍然属于常绿落叶阔叶混交林,折射出当时的气候条件相对温暖湿润。而大量禾本科植物花粉的出现,则很可能暗示了由于古代先民的大规模迁入从而导致的水稻等农作物的大范围种植^[16]。此外，从出土遗物中发现了大量的炭化稻粒及先民耕种用的犁及石镰，也反映了良渚时期古代先民

表八// Sr/Ca 值的比较

古代组	时代	Sr/Ca
广西冲塘组	新石器	0.368
河北姜家梁	新石器	0.927
上海广富林	新石器	1.02
上海崧泽	新石器	0.96
甘肃干骨崖	青铜时代前期	0.26
甘肃干骨崖	青铜时代后期	0.38
欧美人	现代	0.050~0.063

在不断强化稻作农业的规模。良渚文化农业生产工具是前一时期所无法比拟的,这些农耕的专用工具大多制作精细,通体磨光,形制规整,刃部锋利。而且工具种类丰富多样,形成了一套功能齐全、配套使用的组合工具。另外,石犁作为犁耕农业中最为重要的标志性工具之一,在良渚时期也得到了极大的改进。良渚文化的石犁不仅数量多、种类全,而且尖部夹角小,更有利于深耕细作。当然,使用改进过的易于深耕的石犁,不仅提高了劳动生产率和土地利用效率,增加水稻产量,同时也大大增加了人们的劳动强度。总之,广富林遗址良渚文化时期先民的稻作农业已经相当发达,可以提供充足的植物性食物的摄入,这一点恰恰与Sr/Ca值所反映出该组先民所处的营养级互相吻合。

锌是生命机体中参与生理功能最多的微量元素之一。锌尤其对人体骨骼生长发育的影响极大,儿童患锌缺乏症常常会导致骨骼发育迟缓,而成年人的锌缺乏往往会增加骨骼的骨质疏松症的发病率^[17]。锌的含量与人类食物结构存在非常密切的关系,由于锌的含量与蛋白类食物的摄入具有明显的关联,因此,也常常被用来判断蛋白类食物的摄入情况,研究表明:肉食动物的骨骼中锌的含量要远远超过草食动物骨骼中的锌含量^[18],而水产品 and 奶制品中也富含大量的锌^[19]。广富林遗址良渚文化时期古代先民骨骼中锌的含量为350.87 $\mu\text{g/g}$,处于一个相当高的水平上,暗示了当时人们的食物结构中很可能存在丰富的蛋白质类食物的摄入。从广富林遗址良渚文化时期的孢粉记录来看,良渚文化层的植被中草本植物数量明显增加,特别是水生草本植物香蒲的大量生长,其他如莎草科、黑三棱也有部分生长,野生和栽培的禾本科类植物的繁盛生长,木本植物花粉中针叶松大大减少,常绿栎类、落叶栎类与杉、柳等生长繁茂。通过分析当时植被的情况,我们可以推测在当时广富林遗址附近的低矮的山丘上仍然生长着繁茂的树木,植被覆盖情况良好,而处于平原地区的水网分布密集,水域面积宽阔,水生植物繁茂茂盛^[20]。广富林遗址良渚时期居民为扩大食物来源,还充分利用水生资源来补充粮食生产的不足,而良渚文化中网坠的大量使用与广富林良渚时期先民骨骼中含锌量较高的现象存在比较合理的相伴关系,表明了广富林遗址周边的水生资源已经成为当时先民主要的蛋白质来源。处于周边水网密集生存环境中的先民们完全可以通过在周围湖沼中进行的捕捞活动实现其对食物的有益补充。而

各种鱼类、蚌等水产品的摄入恰恰为先民们提供了丰富的蛋白质。但相对于陆地动物资源,水生资源是一种投入较大的低效资源,一般只有在陆生大型哺乳动物枯竭、其他食物资源又明显不足的情况下才会利用水生资源。在对水生资源的开发利用中,用渔网捕鱼费时费力,还需要多人合作,这种对低效水生资源的强化利用方式同时也增加了当时居民的劳动强度。

五 小结

1、本次试验考察了9例广富林遗址良渚文化时期先民骨骼中锶(Sr)、锌(Zn)、钙(Ca)、磷(P)、镁(Mg)、钡(Ba)、锰(Mn)等7种微量元素的含量,为上海地区新石器时代古代居民人骨微量元素的比较研究积累了参考数据。

2、检测样品的Ca / P值,除了2例样本受到污染外,其余检测结果较为理想,均在有效检测范围内。

3、广富林遗址良渚时期居民的Sr / Ca值较大,反映其所处营养级偏低,植物性的食物应该是该组居民饮食结构的主体。发达的稻作业为该组居民提供了充足的植物性食物。而水网密集的周边环境同时又为该时期居民提供了丰富水产品,从而极大地补充了其蛋白质的摄入。

(本文所使用的骨骼标本由上海博物馆考古部提供。)

[1]上海市文物保管委员会:《上海市松江县广富林新石器时代遗址试探》,《考古》1962年第9期。

[2]上海博物馆考古研究部:《上海松江区广富林遗址1999-2000年发掘简报》,《考古》2002年第10期;周丽娟:《广富林遗址良渚文化墓葬与水井的发掘》,《东南文化》2003年第11期;周丽娟:《广富林遗址良渚文化遗存》,《南方文物》2006年第3期。

[3][英]西蒙·梅斯著,肖健一、张小涓译:《骨骼的化学分析》,《考古与文物》2002年第2期。

[4]金海燕、张全超、宇博:《新疆青铜时代古代人骨中痕量元素的ICP-AES法测定》,《吉林大学学报》(理学版)2003年第2期。

[5]韩永志:《标准物质手册》,中国计量出版社1992年。

[6][8]胡耀武:《古代人类食谱及其相关研究》,中国科学技术大学博士学位论文,2002年。

Price T. D., Blitz J., Burton J. H., et al. Diagenesis in prehistoric bone: problems and solution. *Journal of Archaeological science*. 1992, (19):513-530.

[7]Holger Schutkowski and Bernd Herrmann. Diet, status and

- decomposition at Weingarten: trace element and isotope analyses on early mediaeval skeletal material. *Journal of Archaeological science*, 1999, (26): 675~685.
- Price T. D., Blitz J., Burton J. H., et al. Diagenesis in prehistoric bone: problems and solution. *Journal of Archaeological science*. 1992, (19):513~530.
- [9]Schoeninger, M. J.. Status at Chalcatzingo: Some empirical and technical aspects of strontium analysis. *American Journal of Physical Anthropology*. 1979, (51):295~310.
- [10]张雪莲:《应用古人骨的元素、同位素分析研究其食物结构》,《人类学学报》2003 年第 1 期。
- [11]魏博源、朱文、钟耳顺、陈文:《广西崇左县冲塘新石器时代人骨微量元素的初步研究》,《人类学学报》1994 年第 3 期。
- [12]郑晓英:《中国甘肃酒泉青铜时代人类股骨化学元素含量分析》,《人类学学报》1993 年第 3 期。
- [13]李法军:《河北阳原姜家梁新石器时代人骨研究》,吉林大学博士论文, 2004 年。
- [14]王轶华:《微量元素在古食谱分析中的初步尝试》, 复旦大学 2003 年硕士论文。
- [15]张玉兰、张敏斌、宋健:《从广富林遗址中的植硅体组合特征看先民农耕发展》,《科学通报》2003 年第 1 期。
- [16]李春海、陈杰、王伟铭:《上海松江广富林遗址的孢粉记录》,《微体古生物学学报》2006 年第 2 期。
- [17]张月红、程义勇(译):《锌与骨骼发育关系的研究进展》,《国外医学(医学地理分册)》2000 年第 2 期。
- [18]Gilbert R. L. Jr., 1975. Trace elemental analysis of trace skeleton Amerindian populations at Dickinson Mounds. Ph. D. dissertation. University of Massachusetts, Amherst.
- [19]Underwood, E. J., 1977. *Trace elemental in Human and Animal Nutrition*. Academic Press, New York.
- [20]张玉兰:《广富林遗存在上海地区的首次发现及其古环境意义》,《海洋地质与第四纪地质》2006 年第 6 期。

Analysis of Trace Elements in Liangzhu Culture Human Bone from Guangfulin Site in Songjiang of Shanghai

ZHANG Quan-chao¹ WANG Yang² ZHAI Yang³

(1.Research Center for Chinese Frontier Archaeology, Jilin University, Changchun, 130012;
2.Shanghai University, Shanghai, 200436; 3.Shanghai Museum, Shanghai, 200003)

Abstract: In recent decades, the study on the palaeodiet of ancient people has become an important part of the modern technological archaeology and stepped into the forward position of the current international technological archaeological field, as chemical elements in human bones can supply a lot of valuable information to reconstruct the model of ancient diet. The result determined by ICP-AES showed that there were seven chemical elements such as zincum (Zn), calcium (Ca), phosphorum (P), manganum (Mn), magnesium (Mg), strontium (Sr) and barium (Ba) in Liangzhu culture human bone from Guangfulin site in Songjiang of Shanghai. It also indicated that plentiful paddy and aquatic products were the main food resources which supplied enough protein for the ancient inhabitants in Liangzhu Culture.

Key words: Guangfulin site; Liangzhu Culture; human bone; trace elements analysis