

海洋碳库效应对沿海地区人骨碳十四测年的影响

——以山东砣矶岛大口遗址为例

张昕煜 闫欣 王明辉 张旭 胡耀武

关键词：海洋碳库效应 大口遗址 碳十四测年 年代校正

KEYWORDS: Marine Reservoir Effect Dakou Site Radiocarbon Dating Date Calibration

ABSTRACT: The marine reservoir effect can cause radiocarbon dating results of marine samples and organisms with a high intake of marine-based food to appear older than they actually are. To explore the impact of this effect on radiocarbon dating at coastal archaeological sites in China, analysis of human bones from the Dakou site on Tuoji Island, Shandong, was conducted. This study found that for populations with a long-term marine diet, radiocarbon dating results of bones were significantly influenced by the marine reservoir effect, potentially leading to dates that are more than 250 years earlier. After applying internationally recommended radiocarbon calibration methods to specifically correct for the marine reservoir effect, more reliable dating results were obtained, consistent with typological analysis of grave goods.

前言

在我国广袤的沿海地区，大量分布着以贝丘遗址为代表的海洋性文化遗存^[1]。利用碳十四测年技术，为沿海地区的考古遗址提供准确的绝对年代数据，重建先民开发海洋、利用海洋的历史，一直是沿海地区考古学研究的核心问题之一^[2]。但是，由于海洋中广泛存在的海洋碳库效应（Marine Reservoir Effect，缩写为MRE，或称海洋碳储存库效应）会对海洋来源的样品以及大量摄入海洋性食物的生物遗骸的碳十四年代产生

显著影响^[3]，如何准确、可靠地对沿海地区考古遗址出土的材料进行碳十四测年，是国际碳十四测年领域长期以来关注的热点与难点^[4]，也是我国考古测年研究中较少涉及的领域^[5]。

海洋碳库效应指的是在全球范围内，当对海洋来源的样品，如海洋沉积物、海洋生物（珊瑚、海贝、海鱼等）以及大量摄入海洋性食物的生物体开展碳十四测年时，其结果较样品的实际年龄偏早（老）的现象^[6]。受海洋碳循环与交换机制的影响^[7]，当对全球浅海区域（海平面以下75米以内）的样品

作者：张昕煜，北京市，100006，中国国家博物馆考古院。

闫欣，北京市，100013，国家文物局考古研究中心。

王明辉、张旭，北京市，102488，中国社会科学院科技考古与文化遗产保护重点实验室。

胡耀武，上海市，200433，复旦大学科技考古研究院。

进行测年时,其结果较样品的实际年龄平均偏早约400年,即全球海洋的平均碳库年龄[Marine Reservoir Age,用R(t)表示]约为400年^[8]。海洋水体越深、越靠近极地地区,海洋碳库效应的影响越强,其样品的碳十四测年结果较实际偏早的程度便越严重,如在极地地区,其样品的测年结果可能会偏早800~1200年^[9]。更复杂的是,在全球洋流活动、季风活动等诸多复杂因素的共同作用下,在全球不同海域,海洋碳库效应的影响程度也不一致,呈现出强烈的地区差异,这导致全球各海域均有各自不同的碳库年龄偏离值(Difference between the Regional and the Global Marine Reservoir Ages,用 ΔR 表示),比如墨西哥东海岸的墨西哥湾区,其 ΔR 约为 -5 ± 20 ,而处于相近纬度的墨西哥西海岸加利福尼亚湾区,其 ΔR 则剧增至 520 ± 40 ^[10]。

年代校正是碳十四测年技术中至关重要的一步,是保障测年结果准确、可靠的关键环节之一^[11]。通过年代校正曲线,可以尽可能地修正大气碳十四含量波动对测年结果的影响,从而将仪器测得的碳十四年代(B.P.)校正为考古学家更习惯使用的、更贴近真实情况的日历年代(Cal B.P.,或B.C./A.D.)^[12]。目前,在我国的考古测年领域,使用最广泛的是IntCal20曲线^[13],但是,该曲线仅适用于北半球陆地样品(如陆生动植物)的年代校正^[14]。针对海洋碳库效应,国际上专门开发了与之相应的全球海洋样品校正曲线,该校正曲线经多次更新,已发布过多个版本,如Marine04^[15]、Marine09^[16]、Marine13^[17],目前通行版本为2020年发表的Marine20^[18]。但是,以Marine20为代表的全球海洋样品校正曲线仅能对全球海洋碳库效应的平均水平进行修正^[19]。考虑到该效应具有强烈的地区差异,不同海域的碳库年龄偏离值各不相同,因此,当对某个特定海域的海洋样品开展碳十四测年时,较理想的年代校正方法是将Marine20曲线与该海域

特定的碳库年龄偏离值(ΔR)相结合^[20]。 ΔR 作为校正海洋碳库效应时的一个关键参数,其具体数值需经过一系列科学的测算,并可通过不断更新的全球海洋碳库数据库(Marine Reservoir Database,网址<http://calib.org/marine/>)进行检索^[21]。

在全球范围内,对沿海地区的考古样品开展碳十四测年时,需特别注意那些可能大量摄入海洋性食物的生物体^[22],因为这些生物体可能因长期食用海洋性食物导致其测年结果受到海洋碳库效应的影响^[23]。对英国玫瑰战争时期的国王理查德三世(King Richard III)人骨的碳十四测年研究就指出,理查德三世长期食用牡蛎、海鱼等海生食物^[24],如果未进行海洋碳库效应校正,其人骨的测年结果较文献记载的实际死亡年龄(公元1485年)偏早了约40年^[25]。而在一些海洋碳库效应影响剧烈的地区,如白令海峡附近的俄罗斯楚科奇地区的艾克温(Ekven)遗址,由于人群食用海豹、海狮等海洋哺乳动物,使得其人骨的测年结果受到海洋碳库效应的显著影响,如果不做相应校正,其测年结果较实际偏早可达 842 ± 123 年^[26]。

在我国沿海地区的考古学研究中,海洋碳库效应如何影响人骨样品的碳十四测年结果,怎样开展相应的年代校正。对这些问题,目前仍缺乏深入的探讨。为此,本文以山东庙岛群岛龙山至岳石文化时期的代表性遗址——大口遗址为例^[27],对人骨开展了碳十四测年、骨胶原碳氮稳定同位素分析,并对墓葬的随葬品进行了类型学研究,试图揭示海洋碳库效应对大口遗址人骨碳十四测年结果的显著影响。此外,本文将尝试对海洋碳库效应做针对性的年代校正,并结合墓葬随葬品类型学研究评估本次年代校正的可靠性。

一、材料与方法

(一) 遗址概况

大口遗址位于山东省烟台市蓬莱区的砣

矾岛上，是海岱地区胶东半岛小处龙山文化与岳石文化共存的代表性遗址。北京大学、中国社会科学院考古研究所分别在1980年和1982年对其开展了考古调查与发掘。1980年调查时，在一处沟壁上发现了4座墓葬，出土了龙山文化时期的蛋壳黑陶双层杯、陶豆、石凿等随葬品^[28]。1982年的考古发掘揭示出多处房址、墓葬、兽坑（以埋葬猪为主，少数埋狗）、用火遗迹等，出土了较丰富的陶器、石器、骨器等遗物^[29]。此外，大口遗址的墓葬具有较为多样的葬俗特征，部分墓葬还存在人骨上压石块、填土中夹杂马蹄螺、海蛎壳等现象，这被认为是胶东半岛独特性的体现，可能也是环渤海地区的共同文化特点^[30]。

大口遗址地层关系清晰，共分7层，其中第1、2层分别为表土及近代扰乱层；第3层因出有蘑菇形陶盖钮、内腹壁有凸棱的陶豆等器物，被认为是岳石文化层；第4~7层（第7层分为7A、7B两小层）因出有磨光黑陶、陶豆、陶单耳杯等，被认为是龙山文化层。该遗址共发现墓葬22座，可分为两期。第一期（早期）墓葬12座，分别叠压于第4、5、6层下，其中仅5座墓葬有随葬品，均为陶器。据墓葬的层位及随葬陶器的特征，一般认为第一期墓葬的相对年代为龙山文化时期。第二期（晚期）墓葬10座，均叠压于第3层下，无随葬品。根据地层关系，普遍认为第二期墓

葬的相对年代为岳石文化时期（图一）。

此前，对大口遗址墓葬出土的人骨尚未开展直接的碳十四测年工作。发掘者曾选取遗址第7A层出土，即第一期早段的2份木炭进行碳十四测年，结果分别为公元前2855~2466年（ZK-1303A）、公元前2873~2502年（ZK-1303B）（采用树轮校正曲线1986年高精度校正表，用微机程序计出）^[31]。但是，发掘者认为该碳十四测年结果可能存在偏早的现象。

（二）样品选择

受人骨保存状况影响，在大口遗址22座墓葬中仅采集到人骨样品18例。我们对这18例人骨样品进行了加速器质谱碳十四测年（AMS-¹⁴C），考虑到人群对海生食物的消费可能导致其骨骼的测年结果受到海洋碳库效应的潜在影响，为评估大口人群对海洋性食物的食用程度，还进行了骨胶原碳氮稳定同位素分析。选择样品时充分考虑了人骨所属墓葬的地层层位、文化分期等因素，取样部位均为保存较好的肢骨或颅骨残片。其中，仅10例人骨样品成功获得了碳十四年代数据，18例人骨样品均获得了骨胶原碳氮稳定同位素分析结果。

（三）加速器质谱碳十四测年

10例人骨样品在贝塔（Beta）实验室进行了加速器质谱碳十四测年。碳十四年代采用IntCal20曲线校正，在OxCal v4.4.4软件上进行。

	表土及近代扰乱层	岳石文化层	龙山文化层			
土色		灰黑色土	浅灰色土	黑褐色土	浅黄灰色土	7A为黑灰色土 7B为黄灰色土
包含物		较多海螺、海蛎子壳、陶片等	海螺、海蛎子壳、陶片、石器	陶片等	少量陶片	陶片等
地层关系	1 → 2	3 M1、M5、M18*、M19 M6*、M7、M17 M2* → M4* M3	4 M15*、M16*、M22* M8、M11、M12 M9 → M10 → M20*	5 M13*、M21*	6 M14	7A 7B

图一 大口遗址地层关系示意图

（墓葬后加*者，本文已对墓主人骨开展碳十四测年。除图中所绘，墓葬间还存在以下关系，M15、M16、M22成品字形排列，M8、M11、M12集中分布，M19→M21、M17→M22，M2~4分布较为集中）

(四) 骨胶原制备及碳氮稳定同位素测试

18例人骨胶原的提取与稳定同位素测试均在中国科学院大学考古与人类学系考古同位素实验室进行。骨胶原制备根据理查德(Richard)等提出的方法进行^[32]。骨胶原测试仪器为串联的Elementar Vario元素分析仪和Isoprime 100稳定同位素质谱仪。碳氮稳定同位素比值,分别以国际标准IAEA-600、IAEA-CH-6标定碳钢瓶气(以VPDB为基准)和IAEA-600、IAEA-N-2标定氮钢瓶气(以AIR为基准)为标准,分析精度分别为 $\pm 0.1\%$ 和 $\pm 0.2\%$ 。

二、分析结果

(一) 大口遗址人骨碳十四测年结果

10例大口遗址墓葬出土人骨的测年结

果见表一。若以95.4%为置信区间,大口一期墓葬墓主人死亡时间的分布范围为公元前2468~1980年,大口二期墓葬墓主人死亡时间的分布范围为公元前2204~1891年。

(二) 大口遗址人骨胶原碳氮稳定同位素分析结果

18例大口墓葬人骨均成功提取出胶原蛋白。采用目前国际古食谱分析领域剔除受污染样品的主流方法,即以骨胶原的碳(15.3~47%)、氮(5.5~17.3%)含量及C/N摩尔比值(2.9~3.6)为指标^[33],进行查验后,发现这18例骨胶原均未受到污染,可用于后续的骨胶原碳氮稳定同位素分析,分析结果见表二。这18例骨胶原的胶原率为1.1~10.4%,低于现代骨骼样品(约20%)^[34],表明骨骼在长期的埋藏过程中保存

表一 大口遗址人骨碳十四测年结果

墓葬编号	实验室编号	所属地层	遗址分期	碳十四年代(B.P.)	日历年代(B.C.)	
					1 σ (68.3%)	2 σ (95.4%)
M13	Beta-675241	第5层	第一期	3750 \pm 30	2204 ~ 2134 (55.1%) 2083 ~ 2058 (13.2%)	2284 ~ 2249 (9.7%) 2234 ~ 2218 (2.1%) 2211 ~ 2114 (60.3%) 2101 ~ 2037 (23.3%)
M21	Beta-675242	第5层	第一期	3700 \pm 30	2138 ~ 2112 (18.8%) 2102 ~ 2036 (49.5%)	2199 ~ 2166 (9.6%) 2150 ~ 2019 (82.4%) 1996 ~ 1980 (3.4%)
M22	Beta-591095	第4层	第一期	3890 \pm 30	2457 ~ 2342 (68.3%)	2468 ~ 2287 (94.7%) 2246 ~ 2239 (0.8%)
M20	Beta-591094	第4层	第一期	3740 \pm 30	2200 ~ 2132 (47.4%) 2086 ~ 2051 (20.8%)	2277 ~ 2255 (4.7%) 2207 ~ 2035 (90.7%)
M16	Beta-675244	第4层	第一期	3830 \pm 30	2341 ~ 2319 (10.2%) 2306 ~ 2204 (20.8%)	2453 ~ 2419 (4.6%) 2408 ~ 2374 (7.2%) 2355 ~ 2197 (80.6%) 2169 ~ 2148 (3.1%)
M15	Beta-675243	第4层	第一期	3840 \pm 30	2396 ~ 2388 (3.1%) 2344 ~ 2275 (37.2%) 2256 ~ 2206 (27.9%)	2455 ~ 2417 (7.8%) 2410 ~ 2201 (87.7%)
M2	Beta-675245	第3层	第二期	3640 \pm 30	2112 ~ 2103 (4.6%) 2036 ~ 1950 (63.7%)	2135 ~ 2082 (18.0%) 2059 ~ 1921 (76.2%) 1912 ~ 1900 (1.3%)
M4	Beta-675247	第3层	第二期	3620 \pm 30	2027 ~ 1941 (68.3%)	2123 ~ 2095 (5.6%) 2040 ~ 1891 (89.8%)
M6	Beta-591091	第3层	第二期	3720 \pm 30	2196 ~ 2174 (13.6%) 2146 ~ 2121 (15.3%) 2096 ~ 2039 (39.4%)	2204 ~ 2027 (95.4%)
M18	Beta-591093	第3层	第二期	3700 \pm 30	2138 ~ 2112 (18.8%) 2102 ~ 2036 (49.5%)	2199 ~ 2166 (9.6%) 2150 ~ 2019 (82.4%) 1996 ~ 1980 (3.4%)

说明:所用碳十四半衰期为5568年,B.P.为距1950年的年代;校正曲线为IntCal20。

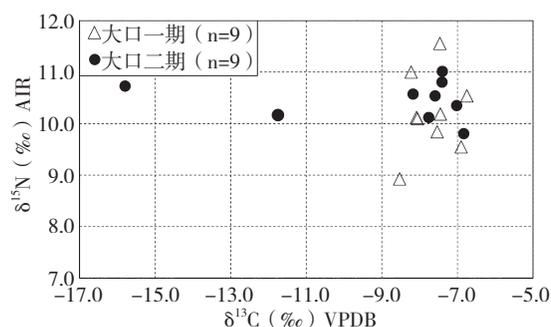
表二 大口遗址人骨的考古背景、骨胶原碳氮含量及稳定同位素分析结果

遗址分期	出土单位	所属地层	C (%)	N (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	胶原得率 (%)	是否开展碳十四测年	是否有随葬品
第一期	M13	第5层	40.2	14.7	-6.7	10.5	3.2	3.7	是	否
	M21	第5层	43.1	15.8	-7.5	9.8	3.2	2.7	是	是
	M22	第4层	41.4	15.1	-7.5	11.6	3.2	8.3	是	是
	M16	第4层	40.6	14.9	-8.1	10.1	3.2	5.3	是	是
	M15	第4层	43.7	15.8	-8.1	10.1	3.2	10.4	是	是
	M20	第4层	46.3	16.8	-6.9	9.5	3.2	3.7	是	否
	M8	第4层	38.7	13.9	-7.4	10.2	3.2	2.8	否	否
	M12	第4层	43.1	15.9	-8.5	8.9	3.2	4.3	否	否
	M9	第4层	30.1	11	-8.2	11	3.2	1.1	否	否
第二期	M6	第3层	43.4	16	-7.4	10.8	3.2	7.6	是	否
	M18	第3层	22.5	8.1	-15.8	10.7	3.2	5	是	否
	M2	第3层	42.9	15.7	-6.8	9.8	3.2	10.4	是	否
	M4	第3层	37.1	13.5	-11.7	10.2	3.2	4.8	是	否
	M1	第3层	44.6	16.2	-7.8	10.1	3.2	4.5	否	否
	M3	第3层	42.5	15.5	-7.6	10.5	3.2	3.3	否	否
	M5	第3层	41	14.8	-7	10.3	3.2	3	否	否
	M17	第3层	25.7	9.3	-8.2	10.6	3.2	4.1	否	否
M19	第3层	27.7	10.1	-7.4	11	3.2	6	否	否	

状况不佳，这或许是部分人骨样品未能成功获取碳十四测年数据的原因。

大口遗址人群的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-15.8 \sim -6.7\text{‰}$ ，均值为 $-8.3 \pm 2.2\text{‰}$ ($n=18$)； $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $8.9 \sim 11.6\text{‰}$ ，均值为 $10.3 \pm 0.6\text{‰}$ ($n=18$) (图二)。较高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值表明人群整体上以 C_4 类食物为食。较高的 $\delta^{15}\text{N}$ 值表明人群具有较高的营养级，这与人群长期大量摄入陆生动物蛋白甚至消费海洋性食物有关。

此外，除M18、M4这两例个体外，大口一期与大口二期人群的食物结构整体上较为一致。M18、M4的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为人群中最低，分别为 -15.8‰ 、 -11.7‰ ，表明二者可能摄取

图二 大口遗址人骨胶原 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值散点图

了更多的 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏低的食物。在骨胶原的 $\delta^{15}\text{N}$ 值方面，M22为人群中最高，为 11.6‰ ，该个体可能更多地摄入了陆生动物蛋白或海洋性食物。

三、讨 论

(一) 大口人群对海洋性食物的消费

骨胶原碳氮稳定同位素分析体现的是个体长期(10年以上)的食物消费水平^[35]。整体上，大口人群骨胶原具有很高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值，表明 C_4 类食物是人群食物结构的基础。考古资料显示，粟、黍是龙山文化至岳石文化时期胶东半岛地区种植最为普遍的 C_4 类粮食作物^[36]。虽然大口遗址未开展相应的浮选工作，但是胶东半岛已开展过系统植物考古的午台、三官庙等遗址均出土了占主导地位的粟、黍炭化种子^[37]。由此推断，粟、黍等 C_4 类粮食作物是大口遗址先民最重要的食物来源，发达的粟作农业是大口遗址先民长期稳定食用粟、黍的经济基础。

此外，大口遗址绝大多数的人骨胶原蛋白均具有较高的 $\delta^{15}\text{N}$ 值，表明人群具有较

高的营养等级，这是先民长期摄入陆生动物蛋白或海洋性食物的体现。大口遗址位于渤海中的砣矶岛上，遗址地层堆积第3、4层中均出土了大量的海螺、海蛎壳等海洋性食物遗存。稳定同位素研究表明，全球海洋生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值普遍高于同一营养级的陆地生物，一般介于6~20‰（海洋贝类、鱼类及哺乳动物等）^[38]。与大口遗址相邻的蓬莱海域的现代扇贝科生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为5.5~7.7‰^[39]。我国北方考古遗址出土的海洋生物稳定同位素分析目前仅见于大连广鹿岛小珠山遗址，其出土鲷鱼骨胶原的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为11.3~12.7‰，海狮骨胶原的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为16.8‰，海豹骨胶原的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为16~17‰^[40]。通常，在缺乏遗址动物骨骼进行对比的情况下，一些长期食用海洋性食物的人群的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在10~22‰之间^[41]。本次实验中，有14例人骨样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均高于10‰，这表明海洋性食物也是大口人群食物结构的重要组成。特别是M22，该个体的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最高，暗示了其海洋性资源的利用应更为充分。

为进一步评估大口人群对海洋性食物的利用强度，将大口遗址与胶东半岛目前已开展过骨胶原碳氮稳定同位素分析的史前遗址进行对比（表三；图三）。胶东半岛沿海地

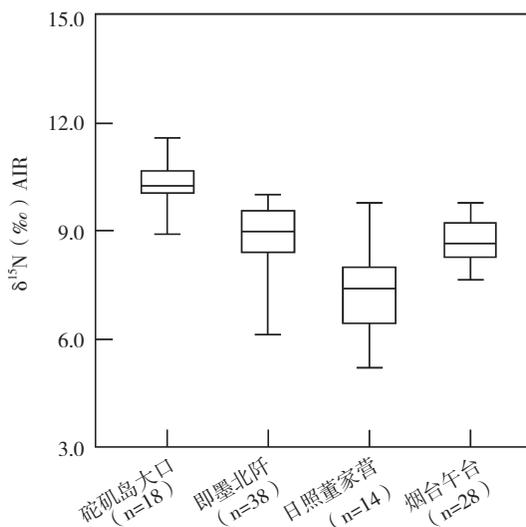
带的众多遗址，如砣矶岛大口、即墨北阡、烟台午台等，其人群的骨胶原均表现出较高的 $\delta^{15}\text{N}$ 值，表明海洋食物资源的开发利用在胶东半岛沿海地带人群的生活方式中一直占据重要地位^[42]。作为对比的是位于日照市内陆区域的董家营遗址，其人群的食物结构呈现出 $\delta^{15}\text{N}$ 偏低的特点，这与内陆人群主要从事粟作农业、较少利用海洋资源的生业方式相符^[43]。更重要的是，大口人群骨胶原的 $\delta^{15}\text{N}$ 值是目前所见胶东半岛地区最高的，甚至高于北阡人群。北阡人群是目前公认的山东沿海地区大量食用海贝的典型人群^[44]，而海贝的 $\delta^{15}\text{N}$ 值则低于海洋鱼类及海洋哺乳动物^[45]。因此，在不考虑其他影响 $\delta^{15}\text{N}$ 值因素的情况下（如干旱、施农家肥、人体新陈代谢异常等）^[46]，如果北阡遗址居民大规模食用了海洋贝类，那么砣矶岛大口遗址所代表的岛屿居民可能不仅开发利用了海生食物，对海洋中具有更高营养级的生物如虾、蟹、鱼等的消费可能也更为充分。

综上所述，虽然以粟、黍种植为基础的旱作农业是大口人群最主要的生业方式，但是海洋渔猎捕捞、家畜饲养等在先民的生活中也占有重要地位。特别是大口人群相当高的 $\delta^{15}\text{N}$ 值充分显示了先民对海贝、海鱼等海

表三 胶东半岛史前人群骨胶原碳氮稳定同位素分析结果的比较

地区	名称	考古学文化	种属	$\delta^{13}\text{C}$ 均值(‰)	$\delta^{15}\text{N}$ 均值(‰)	资料出处
胶东半岛	烟台白石村 (n=2)	白石村一期、白石村二期	不详	-19.9 ± 0.6		注释[47]
	长岛北庄(n=1)	新石器时代	人	-7.892	13.174	注释[48]
	即墨北阡 (n=38)	大汶口文化早期	人	-9.6 ± 0.8	8.8 ± 1	注释[44]
	栖霞古镇都 (n=4)	大汶口文化中晚期	人	-8.4 ± 0.7	9.615	注释[48]
	烟台午台 (n=28)	大汶口文化晚期至龙山文化早期	人	-7.9 ± 1.1	8.7 ± 0.6	注释[49]
	砣矶岛大口 (n=18)	龙山文化至岳石文化时期	人	-8.3 ± 2.2	10.3 ± 0.6	见表二
鲁东南	日照董家营 (n=14)	大汶口文化中晚期	人	-7.7 ± 1.1	7.3 ± 1.2	注释[43]

说明：烟台白石村、长岛北庄和栖霞古镇都遗址的骨胶原稳定同位素数据未公布相应的碳含量、氮含量及C/N，无法判断骨胶原的污染情况，因此本文未对上述3个遗址的数据做进一步的对比与讨论。其中烟台白石村遗址样品未公布相应的 $\delta^{15}\text{N}$ ；栖霞古镇都遗址公布了4例样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 数据，其中仅1例（SP284）有 $\delta^{15}\text{N}$ 数据。



图三 胶东半岛史前遗址人骨胶原的 $\delta^{15}\text{N}$ 值箱式图
 水产资源的开发利用，这是庙岛群岛先民“靠海吃海”经济特色的鲜明体现。

(二) 海洋碳库效应对大口遗址人骨碳十四测年结果的影响及校正

大口人群骨胶原碳氮稳定同位素分析显示出海生食物是先民食物结构的重要组成部分。不难推断，在大口人群食用这些海洋水产的同时，其中的海洋碳十四信号也会进入人体并最终通过新陈代谢作用保留在人体骨骼中^[50]，即大口墓葬出土人骨的碳十四年代应受到了海洋碳库效应的影响。

如前所述，对受到海洋碳库效应影响的样品进行碳十四年代校正时，不能直接采用IntCal20曲线^[51]，应采用更具针对性的校正方法。该方法有两个关键的校正参数，其一为全球海洋校正曲线，最新版本为Marine20，其二为目标海域的碳库年龄偏离值(ΔR)。特别是 ΔR ，其具体数值只能通过一系列科学测算才能获得，且在全球不同海域均不相同^[52]。目前，全球海洋碳库数据库已收集了全球65个地区近450个 ΔR 值参数，但由于我国 ΔR 的测算工作开展较少，目前仅有香港、西沙群岛、青岛、南海中部等海域有 ΔR 数据^[53]。考虑到其中青岛海域与大口遗址距离最近，因此，本文仅能引用 $\Delta\text{R}_{\text{青岛海域}} =$

-234 ± 60 ^[54]，并结合全球海洋校正曲线Marine20，使用OxCal v4.4.4软件，尝试对大口墓葬人骨的碳十四年代进行重新校正，校正结果如表四、图四所示。

校正前、后测年结果的对比直观展示了海洋碳库效应对大口人骨碳十四测年结果的显著影响。在对海洋碳库效应进行校正后，大口一期、二期墓葬墓主人的死亡年代比未校正前偏晚约250年以上。若以95.4%为置信区间，大口一期墓葬墓主人死亡时间的年代范围为公元前2285~1564年，大口二期墓葬墓主人死亡时间的范围为公元前2046~1482年。

需要指出的是，对于不同环境来源的测年样品，只有采用与之相符的校正曲线及方法才能获得更为可靠的测年结果^[55]。我国使用最广泛的IntCal20曲线是在北半球树轮校正曲线的基础上经多次更新拟合而成的，因此该曲线仅能解决我国大部分考古遗址出土陆生动植物的年代校正问题^[56]。针对海洋碳库效应，Marine20曲线只能对全球海洋碳库效应的平均影响程度进行修正，无法准确反映特定海域的具体情况。只有在Marine20曲线的基础上，充分考虑目标海域的碳库年龄偏离值(ΔR)，才是目前对海洋碳库效应进行校正的理想方法。为直观展示这一点，分别采用上述3种校正方法对大口一期M13 (Beta-675241) 的碳十四年代 ($3750 \pm 30\text{B.P.}$) 进行了校正，结果如图五所示。若不考虑海洋碳库效应对M13人骨的影响，即采用常规的IntCal20曲线进行校正，所得的日历年代最早，为公元前2284~2037年 (95.4%)；若仅采用代表全球海洋碳库平均水平的Marine20曲线进行校正，测年结果显著变年轻，为公元前1724~1416年 (95.4%)；而采用目前国际推荐的方法，结合Marine20曲线和青岛海域 ΔR 值进行校正，所得结果介于二者之间，为公元前2093~1626年 (95.4%)。

综上所述，在采用Marine20曲线及青岛

表四 对海洋碳库效应进行校正前、后的大口遗址人骨碳十四测年结果比较

墓葬编号	实验室编号	碳十四年代 (B.P.)	日历年代 (B.C.)		日历年代 (B.C.)	
			海洋碳库效应校正前 (IntCal20曲线)		海洋碳库效应校正后 (Marine20及 $\Delta R_{\text{青岛海域}} = -234 \pm 60$)	
			1 σ (68.3%)	2 σ (95.4%)	1 σ (68.3%)	2 σ (95.4%)
M13	Beta-675241	3750 ± 30	2204 ~ 2134 (55.1%) 2083 ~ 2058 (13.2%)	2284 ~ 2249 (9.7%) 2234 ~ 2218 (2.1%) 2211 ~ 2114 (60.3%) 2101 ~ 2037 (23.3%)	1972 ~ 1743	2093 ~ 1626
M21	Beta-675242	3700 ± 30	2138 ~ 2112 (18.8%) 2102 ~ 2036 (49.5%)	2199 ~ 2166 (9.6%) 2150 ~ 2019 (82.4%) 1996 ~ 1980 (3.4%)	1909 ~ 1681	2021 ~ 1564
M22	Beta-591095	3890 ± 30	2457 ~ 2342 (68.3%)	2468 ~ 2287 (94.7%) 2246 ~ 2239 (0.8%)	2151 ~ 1923	2285 ~ 1814
M20	Beta-591094	3740 ± 30	2200 ~ 2132 (47.4%) 2086 ~ 2051 (20.8%)	2277 ~ 2255 (4.7%) 2207 ~ 2035 (90.7%)	1961 ~ 1730	2087 ~ 2084 (0.1%) 2076 ~ 1616 (95.3%)
M16	Beta-675244	3830 ± 30	2341 ~ 2319 (10.2%) 2306 ~ 2204 (20.8%)	2453 ~ 2419 (4.6%) 2408 ~ 2374 (7.2%) 2355 ~ 2197 (80.6%) 2169 ~ 2148 (3.1%)	2101 ~ 1862	2197 ~ 1737
M15	Beta-675243	3840 ± 30	2396 ~ 2388 (3.1%) 2344 ~ 2275 (37.2%) 2256 ~ 2206 (27.9%)	2455 ~ 2417 (7.8%) 2410 ~ 2201 (87.7%)	2107 ~ 1873	2205 ~ 1742
M2	Beta-675245	3640 ± 30	2112 ~ 2103 (4.6%) 2036 ~ 1950 (63.7%)	2135 ~ 2082 (18.0%) 2059 ~ 1921 (76.2%) 1912 ~ 1900 (1.3%)	1846 ~ 1838 (1.8%) 1826 ~ 1604 (66.4%)	1936 ~ 1498
M4	Beta-675247	3620 ± 30	2027 ~ 1941 (68.3%)	2123 ~ 2095 (5.6%) 2040 ~ 1891 (89.8%)	1800 ~ 1569	1913 ~ 1482
M6	Beta-591091	3720 ± 30	2196 ~ 2174 (13.6%) 2146 ~ 2121 (15.3%) 2096 ~ 2039 (39.4%)	2204 ~ 2027 (95.4%)	1935 ~ 1706	2046 ~ 1591
M18	Beta-591093	3700 ± 30	2138 ~ 2112 (18.8%) 2102 ~ 2036 (49.5%)	2199 ~ 2166 (9.6%) 2150 ~ 2019 (82.4%) 1996 ~ 1980 (3.4%)	1903 ~ 1677	2021 ~ 1568

说明：所用碳十四半衰期为5568年，B.P.为距1950年的年代。

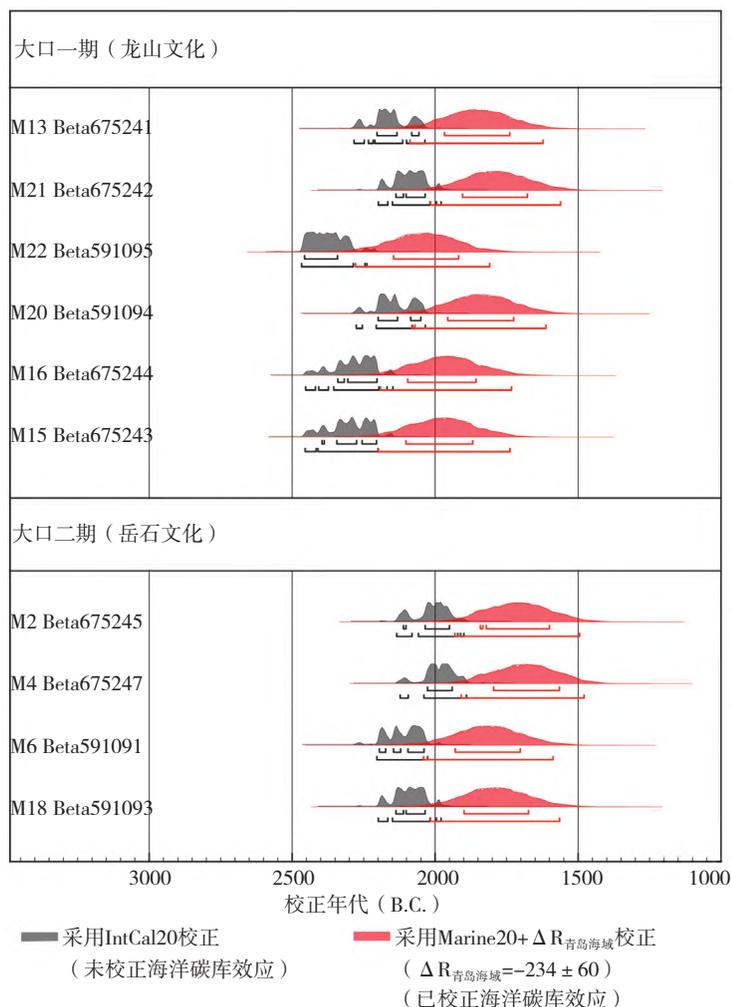
海域 ΔR 值 ($\Delta R_{\text{青岛海域}} = -234 \pm 60$) 对大口遗址所在海域的海洋碳库效应做针对性校正后，大口墓葬墓主人的死亡时间比未校正前偏晚约250年以上。但应特别注意的是，由于我国各海域碳库年龄偏离值 (ΔR) 的测算工作开展较少，目前大口遗址所在海域的 ΔR 值仍不清楚，在校正大口墓葬人骨海洋碳库效应时，仅能引用与之相邻的青岛海域 ΔR 值。为评估和验证本次校正结果的可靠程度，本文还对大口墓葬出土陶器开展了类型学分析。

(三) 大口遗址墓葬出土陶器的类型学分析

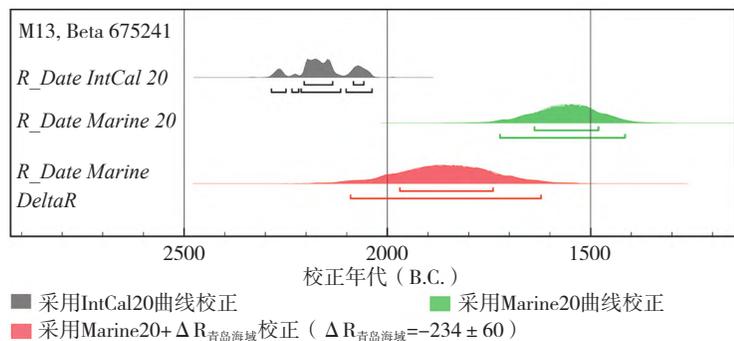
大口遗址第一期有5座墓葬共出土20件

陶器，其中16件为完整器，4件为残器底。现已成功获取其中4座墓葬墓主人骨的碳十四年代数据。10座第二期墓葬均未发现随葬品。鉴于此，本文将大口一期墓葬出土的16件完整陶器与周边地区出土同类器进行比较（图六）。相关器形的阶段性演变规律主要参考栾丰实、李伊萍的研究^[57]。

大口一期墓葬出土陶器以单耳杯数量最多，还有少量豆、小瓶、盆、小罐、甕等。这些陶器具有明显的龙山文化风格，不仅在龙山文化核心区的两城镇^[58]、尹家城^[59]、西吴寺^[60]、三里河^[61]、呈子^[62]等遗址中均有形制接近的器物，在辽东半岛旅大地区的于家



图四 对海洋碳库效应进行校正前、后的大口遗址人骨碳十四测年结果比较图
(IntCal20曲线数据引自注释[13]a, Marine20曲线数据引自注释[18], $\Delta R_{\text{青岛海域}} = -234 \pm 60$ 引自注释[54])



图五 不同校正方法对大口遗址人骨碳十四测年结果的差异性影响 (以M13为例)
(IntCal20曲线数据引自注释[13]a, Marine20曲线数据引自注释[18], $\Delta R_{\text{青岛海域}} = -234 \pm 60$ 引自注释[54])

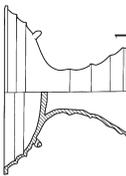
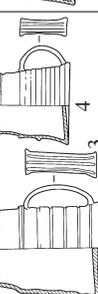
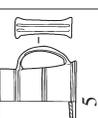
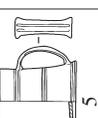
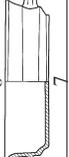
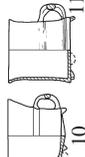
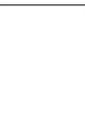
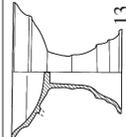
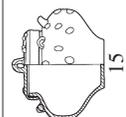
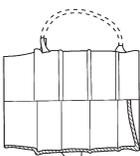
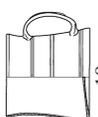
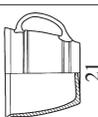
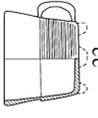
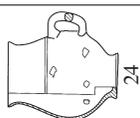
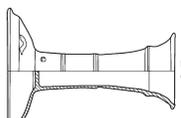
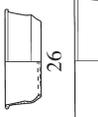
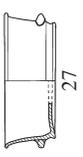
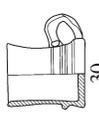
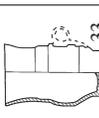
村、老铁山、将军山积石墓中也发现有形制相似的同类器^[63]。

单耳杯是大口一期墓葬出土陶器中数量最多、造型最丰富的器形，共出土7件，尺寸均较小，可分为筒形单耳杯、鼓腹单耳杯两类。其中筒形单耳杯按口部、底部形制不同，可进一步分为子母口、直口、侈口、三足四种。

子母口筒形单耳杯，如大口M21：1、2，子母口，下腹略向外撇（图六，3、4），被认为是杨家圈类型的典型器物^[64]。该类器物在海岱龙山文化核心区发现较多且延续时间较长，器形相近者如两城镇H213：1（图六，17）和尹家城M126：21（图六，18）等，二者年代分别为两城镇遗址第八期^[65]、尹家城遗址第四段^[66]，相当于海岱龙山文化中后期至晚期早段。

直口筒形单耳杯，即大口M21：3，腹下壁向外撇，凹底，器身饰弦纹（图六，5）。形制相似的器物在海岱地区出土数量很多，几乎涵盖了龙山文化的每一阶段，如两城镇H31④：200^[67]（图六，19）、尹家城M4：25^[68]（图六，20）。辽东旅大地区于家村T2④：13（图六，30）形制亦有相似之处^[69]。大口M21：3的把手位置靠下，该特征多流行于龙山文化中后期以后。

侈口筒形单耳杯，即大口M22：3，腹壁斜，口大

墓葬/区域	筒形单耳杯			鼓腹单耳杯	豆	盆	小瓶	小罐	甕
	子母口	直口	侈口						
大口 M14									
大口 M21	  					 			
大口 M22			  						
大口 M16									
大口 M15									
山东龙山文化区	   		 			 	 		
辽东旅大地区		 							

图六 大口遗址墓葬出土陶器与山东、辽东地区同类器对比图

1~16.大口遗址 (M14:1, M14:2, M21:1, M21:2, M21:3, M21:4, M21:5, M21:6, M22:1, M22:2, M22:3, M22:4, M22:5, M22:6, M22:7, M22:8, M22:9, M22:10, M22:11, M22:12, M22:13, M22:14, M22:15, M22:16, M22:17, M22:18, M22:19, M22:20, M22:21, M22:22, M22:23, M22:24, M22:25, M22:26, M22:27, M22:28, M22:29, M22:30, M22:31, M22:32, M22:33, M22:34, M22:35, M22:36, M22:37, M22:38, M22:39, M22:40, M22:41, M22:42, M22:43, M22:44, M22:45, M22:46, M22:47, M22:48, M22:49, M22:50, M22:51, M22:52, M22:53, M22:54, M22:55, M22:56, M22:57, M22:58, M22:59, M22:60, M22:61, M22:62, M22:63, M22:64, M22:65, M22:66, M22:67, M22:68, M22:69, M22:70, M22:71, M22:72, M22:73, M22:74, M22:75, M22:76, M22:77, M22:78, M22:79, M22:80, M22:81, M22:82, M22:83, M22:84, M22:85, M22:86, M22:87, M22:88, M22:89, M22:90, M22:91, M22:92, M22:93, M22:94, M22:95, M22:96, M22:97, M22:98, M22:99, M22:100, T025C34③:48, H56:9, T010C10①:246, T022G29:23) 18, 20.尹家城遗址 (M126:21, M4:25) 22.杨家圈遗址 (H4:3) 23.三里河遗址 (M2124:19) 25.呈子遗址 (M32:10) 28.西吴寺遗址 (H166:2) 30.于家村遗址 (T2④:13) 31~33, 35.将军山积石冢 (M1C:2, M1B:4, MID:2, M1C:5) 34.老铁山积石冢 [M1(6)室出土] (大口遗址墓葬中M15、M16、M21、M22皆获取了大晋破十四年代数据)

底小（图六，9）。此形制特征见于两城镇T021②：100^[70]（图六，21），该单位主体年代为龙山文化中期，部分区域存在晚期遗存。辽东旅大地区将军山M1C：2（图六，31）、M1B：4（图六，32）形制亦相近，但造型更为粗糙^[71]。

三足筒形单耳杯，如大口M22：1、2，侈口，器身饰弦纹，M22：1为圜底（图六，10），M22：2为平底（图六，11）。形制与杨家圈H4：3^[72]（图六，22）、三里河M2124：19^[73]（图六，23）相似，主要流行于龙山文化中期以前。

鼓腹单耳杯，即大口M16：3，口径5.1、高6.2厘米，尺寸较小（图六，12）。该器形流行时间较长，形制相似者如两城镇T025G34③：48^[74]（图六，24）、辽东旅大地区将军山的M1D：2^[75]（图六，33），但如大口M16：3一般尺寸较小者较为少见。综合来看，由于器物的尺寸较小，尚不足以对其功能与流行阶段做进一步判断。

豆即大口M14：1（图六，1）、M16：2（图六，13）。该器形的完整器多见于龙山文化早、中期的遗迹中，形制相似者如呈子M32：10^[76]（图六，25）。辽东旅大地区年代偏晚的老铁山M1（6）室也出土了形制相近的器物^[77]（图六，34）。

盆即大口M21：4（图六，6）、M21：5（图六，7），出土时M21：4置于M21：5内。下部折收的形制可能也是胶东半岛地区的特性^[78]。目前，在海岱核心区此类器物发现较少，形制相近者如两城镇H56：9（图六，26）、T010G10①：246^[79]（图六，27），年代多可归于龙山文化中期至晚期阶段。

需要注意的是，大口墓葬出土了较多小型陶器，给判断其年代特征造成了较大困扰。小瓶M16：4（图六，14），口径4.8、高6.1厘米，且制作粗糙。西吴寺H166：2^[80]（图六，28）、两城镇T022G29：23^[81]（图六，

29）与之形制相近，但同类小型器发现很少，仍不足以确定其年代信息。相似情况也见于小罐M14：2（图六，2）、M21：6（图六，8）和M15：1（图六，16）。此外，罍M16：1（图六，15）不仅尺寸小，且在海岱地区的几个典型遗址中未见形制相近者，仅辽东旅大地区年代偏晚的将军山M1C：5^[82]（图六，35）形制略有相似。

综合来看，与海岱核心区相比，大口一期墓葬出土陶器所体现出的龙山文化阶段性特征并不统一，且具有较多独特之处，这可能与大口遗址所在的胶东半岛小区地理位置闭塞偏远，陶器风格变化存在独立性有关^[83]。整体而言，第一期墓葬的三足筒形单耳陶杯具有龙山文化早期的特征，陶豆的形制主要具有龙山文化中期的特征，其他陶器如子母口筒形单耳杯、盆等的形制则多见于龙山文化中期至晚期。李伊萍曾指出M21及地层第5层为龙山文化中期，M22、M16及地层第4层为龙山文化晚期，此外，考虑到辽东旅大地区的将军山M1也出土了较多器形相似、制作粗糙的小型器^[84]，因此，本次成功开展碳十四测年的M21、M22、M15、M16的随葬陶器，应主要体现了龙山文化中期至晚期的特征。

目前学界普遍认为海岱龙山文化的绝对年代在公元前2300~1800年之间，公元前2100~2000年是龙山文化前后期的分界^[85]，部分学者认为其年代上限可早至公元前2400年^[86]，也有学者认为其年代上限略晚于公元前2300年^[87]。岳石文化兴起于龙山文化之后，该文化在海岱大部分地区最终融入商文化，而在胶东半岛，岳石文化最终演化为珍珠门文化。目前，关于岳石文化绝对年代的争议仍较大，且随着商文化在海岱地区自西向东逐步推进，岳石文化在海岱各地消亡的时间也存在差异，多数学者认为其绝对年代大致在公元前1800~1450年^[88]或公元前1900~1400年^[89]。

将大口墓葬出土人骨的碳十四测年结果与海岱地区的史前文化年表相对照,可以发现海洋碳库效应导致的年代偏差对准确解读大口墓葬的考古学文化面貌及其年代特征造成了极大的困扰。如果忽视海洋碳库效应的影响,直接采用IntCal20曲线进行碳十四年代校正,大口一期墓葬的测年结果已落入大汶口文化晚期至龙山文化的范围,二期墓葬的测年结果几乎全部落入龙山文化的范围(见表四),明显与墓葬出土陶器所体现出的文化特征不符。与之相较,在采用Marine20与 $\Delta R_{\text{青岛海域}} = -234 \pm 60$ 对海洋碳库效应做校正后,若以95.4%为置信区间,大口一期墓葬墓主人死亡的日历年代范围为公元前2285~1564年。按照海岱地区的考古学文化年表,如果以公元前2100~2000年作为海岱龙山文化前后期的分界^[90],重新校正后得到的大口一期墓葬出土人骨的测年结果已与出土陶器类型学的分析结果基本相符。鉴于此,本文认为尽管缺乏大口遗址所在海域的 ΔR 数据,但在引用青岛海域的 $\Delta R_{\text{青岛海域}} = -234 \pm 60$ 为参数并进行针对性校正后,最终所获的测年结果仍较为可靠,即若以95.4%为置信区间,大口一期墓葬的年代范围为公元前2285~1564年,大口二期墓葬的年代范围为公元前2046~1482年。

通过以上分析,本文首次揭示了海洋碳库效应对我国沿海地区考古遗址出土人骨碳十四测年结果的显著影响。碳十四测年技术是目前了解沿海地区古代人群年代特征的最直接手段之一,但人群对海洋性食物的消费极大可能导致其人骨的碳十四测年结果因海洋碳库效应而出现偏差。因此,在对沿海地带的人骨开展年代学研究时,应高度重视海洋碳库效应的潜在影响。这不仅是我国碳十四测年研究的重要发展方向,更是沿海地区考古学研究应格外关注的课题。

应指出的是,我国海域广阔,海洋环境各有不同,各海域的碳库年龄偏离值(ΔR)

可能各不相同^[91],这就导致海洋碳库效应对我国沿海地区考古遗址测年结果的影响程度也存在差异。但是,由于我国海域可供参考的 ΔR 数据极少,本文仅能参考大口遗址附近青岛海域的 ΔR 做尝试性的校正。此外,人群对海生食物摄入规模的差异也是校正海洋碳库效应时应考虑的因素。由于客观条件所限,本次针对海洋碳库效应所做的年代校正,在具体数值上可能存在偏差,这不仅是本文的不足之处,也是今后应重点研究的方向。

结 语

本文以山东烟台砣矶岛大口墓葬出土的人骨为例,通过人骨碳十四测年、骨胶原碳氮稳定同位素分析以及墓葬出土陶器的类型学分析,得出如下结论。

1.大口墓葬18例人骨胶原的碳氮稳定同位素分析结果表明,粟作农业是大口人群生业经济的基础,海洋食物资源的开发与利用则是其生业经济的特色所在。

2.大口人群对海洋性食物的消费使其骨骼的碳十四年代受到了海洋碳库效应的显著影响。如果不对该效应做针对性校正,大口墓葬10例人骨的测年结果较实际偏早约250年以上。与现行的海岱地区考古学文化年表相比,未经海洋碳库效应校正的大口人骨的测年数据几乎都落入大汶口文化晚期至龙山文化年表的范围内,与墓葬出土陶器及地层关系所体现的龙山至岳石文化时期的文化特征不符。

3.针对海洋碳库效应,本文采用国际推荐的碳十四年代校正方法,在全球海洋校正曲线Marine20的基础上结合青岛海域的碳库年龄偏离值($\Delta R_{\text{青岛海域}} = -234 \pm 60$),重新对大口墓葬人骨的碳十四年代进行了校正。重新校正后所得的测年结果与墓葬出土陶器类型学的分析结果基本相符。若以95.4%为置信区间,大口一期(龙山文化期)墓葬的年代范围为公元前2285~1564年,大口二

期（岳石文化期）墓葬的年代范围为公元前2046~1482年。

附记：本文是中国社会科学院科技考古与文化遗产保护重点实验室学科发展扶持项目“中国古代人骨数据与人群关系分析研究”（项目编号S20250302）、国家社会科学基金青年项目“山东砮矶岛大口遗址出土人骨研究”（项目编号17CKG022）和中国国家博物馆、山东省水下考古研究中心、山东大学合作项目“山东北部沿海地区更新世中期以来的环境演变与人类适应研究”的阶段成果。中国国家博物馆李刚、钱静轩在本文写作过程中给予帮助并提出宝贵意见，谨致谢忱。

注 释

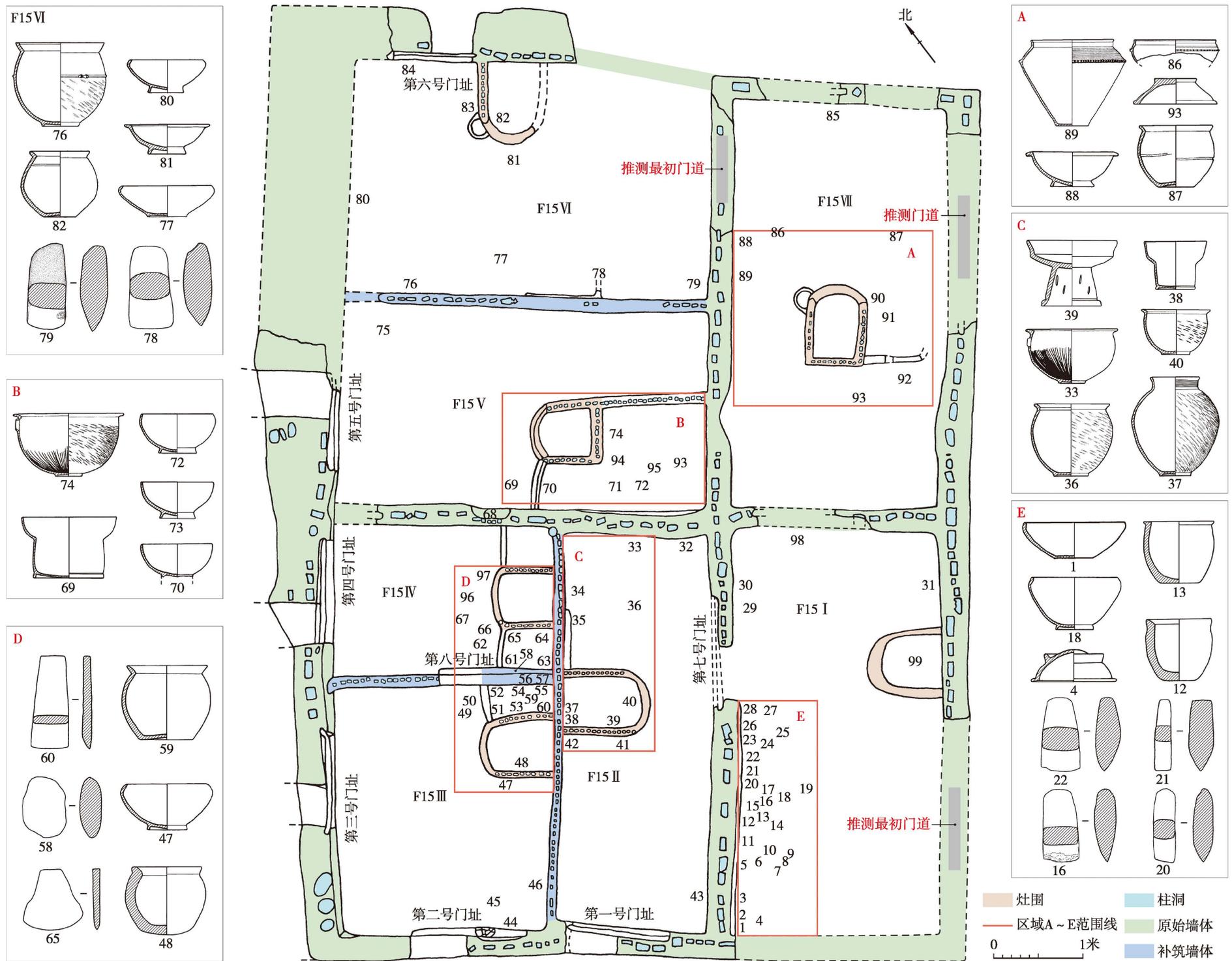
- [1] a.中国社会科学院考古研究所：《胶东半岛贝丘遗址环境考古》第26~173页，社会科学文献出版社，1999年。
b.张弛、洪晓纯：《中国沿海的早期海洋适应性文化》，《南方文物》2016年第3期。
- [2] a.Libby W. F., et al., Age Determination by Radiocarbon Content: World-Wide Assay of Natural Radiocarbon, *Science*, 109(2827), pp.227-228, 1949.
b.Wood R., From Revolution to Convention: the Past, Present and Future of Radiocarbon Dating, *Journal of Archaeological Science*, 56, pp.61-72, 2015.
c.袁靖：《关于中国大陆沿海地区贝丘遗址研究的几个问题》，《考古》1995年第12期。
d.丁见祥：《浅谈大陆架考古及其意义》，《中国文化遗产》2022年第5期。
e.黄超：《考古学视野下南岛语族起源与扩散研究的新进展》，《考古》2023年第11期。
- [3] a.Mangerud J., Radiocarbon Dating of Marine Shells, Including a Discussion of the Apparent Age of Recent Shells from Norway, *Boreas*, 1(2), pp.143-172, 1972.
b.Stuiver M., Polach H., Discussion: Reporting of ^{14}C Data, *Radiocarbon*, 19(3), pp.355-363, 1977.
c.Stuiver M., et al., Radiocarbon Age Calibration of Marine Samples Back to 9000 Cal Yr BP, *Radiocarbon*, 28(2B), pp.980-1021, 1986.
d.Stuiver M., Braziunas T. F., Modeling Atmospheric ^{14}C Influences and ^{14}C Ages of Marine Samples to 10,000 BC, *Radiocarbon*, 35(1), pp.137-189, 1993.
e.刘广山：《海洋放射年代学》第179~190页，厦门大学出版社，2016年。
- [4] Alves E. Q., et al., The Worldwide Marine Radiocarbon Reservoir Effect: Definitions, Mechanisms, and Prospects, *Reviews of Geophysics*, 56(1), pp.278-305, 2018.
- [5] a.福建博物院：《2004年平潭壳丘头遗址发掘报告》，《福建文博》2009年第1期。
b.夏商周断代工程专家组：《夏商周断代工程报告》第361~368页，科学出版社，2022年。
- [6] 同[3]。
- [7] a.Bard E., Correction of Accelerator Mass Spectrometry ^{14}C Ages Measured in Planktonic Foraminifera: Paleoceanographic Implications, *Paleoceanography*, 3(6), pp.635-645, 1988.
b.Gordon J. E., Harkness D. D., Magnitude and Geographic Variation of the Radiocarbon Content in Antarctic Marine Life: Implications for Reservoir Corrections in Radiocarbon Dating, *Quaternary Science Reviews*, 11(7-8), pp.697-708, 1992.
- [8] a.同[3]c。
b.Reimer P. J., Reimer R. W., A Marine Reservoir Correction Database and On-Line Interface, *Radiocarbon*, 43(2A), pp.461-463, 2001.
- [9] a.Austin W. E. N., et al., The ^{14}C Age of the Icelandic Vedde Ash: Implications for Younger Dryas Marine Reservoir Age Corrections, *Radiocarbon*, 37(1), pp.53-62, 1995.
b.Butzin M., et al., Marine Radiocarbon Reservoir Age Simulations for the Past 50,000 Years, *Geophysical Research Letters*, 44(16), pp.8473-8480, 2017.
- [10] a.同[3]c。
b.同[8]b。
c.Heier-Nielsen S., et al., Recent Reservoir Ages for Danish Fjords and Marine Waters,

- Radiocarbon*, 37(3), pp.875–882, 1995.
- d.Ascough P., et al., Methodological Approaches to Determining the Marine Radiocarbon Reservoir Effect, *Progress in Physical Geography*, 29(4), pp.532–547, 2005.
- [11] a.Klein J., et al., Calibration of Radiocarbon Dates: Tables Based on the Consensus Data of the Workshop on Calibrating the Radiocarbon Time Scale, *Radiocarbon*, 24(2), pp.103–150, 1982.
- b.Ramsey C. B., Radiocarbon Dating: Revolutions in Understanding, *Archaeometry*, 50(2), pp.249–275, 2008.
- c.仇士华、蔡莲珍:《关于考古系列样品碳十四测年方法的可靠性问题》,《考古》2001年第11期。
- [12] 同[11]。
- [13] a.Reimer P. J., et al., The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 Cal kBP), *Radiocarbon*, 62(4), pp.725–757, 2020.
- b.刘睿良、理查德·斯达夫(Richard Staff):《碳十四测年技术前沿:新一代校正曲线 IntCal20发布》,《江汉考古》2020年第5期。
- c.四川省文物考古研究院等:《四川广汉三星堆遗址四号祭祀坑的碳十四年代研究》,《四川文物》2021年第2期。
- d.中国社会科学院考古研究所科技考古中心碳十四实验室:《放射性碳素测定年代报告(四九)》,《考古》2023年第7期。
- [14] a.同[13]a。
- b.Reimer P. J., et al., IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0–26 Cal Kyr BP, *Radiocarbon*, 46(3), pp.1029–1058, 2004.
- c.Reimer P. J., et al., IntCal09 and Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 Years Cal BP, *Radiocarbon*, 51(4), pp.1111–1150, 2009.
- d.Reimer P. J., et al., IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years Cal BP, *Radiocarbon*, 55(4), pp.1869–1887, 2013.
- [15] Hughen K. A., et al., Marine04 Marine Radiocarbon Age Calibration, 0–26 Cal Kyr BP, *Radiocarbon*, 46(3), pp.1059–1086, 2004.
- [16] 同[14]c。
- [17] 同[14]d。
- [18] Heaton T. J., et al., Marine20—The Marine Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55,000 Cal BP), *Radiocarbon*, 62(4), pp.779–820, 2020.
- [19] a.同[18]。
- b.Heaton T. J., et al., A Response to Community Questions on the Marine20 Radiocarbon Age Calibration Curve: Marine Reservoir Ages and the Calibration of ^{14}C Samples from the Oceans, *Radiocarbon*, 65(1), pp.247–273, 2023.
- [20] 同[19]。
- [21] a.同[8]b。
- b.同[10]d。
- [22] 同[3]。
- [23] a.同[4]。
- b.Arneborg J., et al., Change of Diet of the Greenland Vikings Determined from Stable Carbon Isotope Analysis and ^{14}C Dating of Their Bones, *Radiocarbon*, 41(2), pp.157–168, 1999.
- [24] Lamb A. L., et al., Multi–Isotope Analysis Demonstrates Significant Lifestyle Changes in King Richard III, *Journal of Archaeological Science*, 50, pp.559–565, 2014.
- [25] Cook G. T., et al., Best Practice Methodology for ^{14}C Calibration of Marine and Mixed Terrestrial/Marine Samples, *Quaternary Geochronology*, 27, pp.164–171, 2015.
- [26] Jack PR Dury, et al., Species–Specific Reservoir Effect Estimates: A Case Study of Archaeological Marine Samples from the Bering Strait, *The Holocene*, 32(11), pp.1209–1221, 2022.
- [27] 中国社会科学院考古研究所山东队:《山东省长岛县砮矶岛大口遗址》,《考古》1985年第12期。
- [28] 北京大学考古实习队等:《山东长岛县史前遗址》,《史前研究》1983年第1期。
- [29] 同[27]。本文内大口遗址考古材料皆引自该发掘简报,以下不再重复加注。
- [30] 方辉:《墓葬所见岳石文化与下七垣文化关系举例》,《中国历史文物》2010年第4期。
- [31] 中国社会科学院考古研究所:《中国考古学中碳十四年代数据集(1965~1991)》第140页,文物出版社,1992年。

- [32] Richards M. P. and Hedges R. E. M., Stable Isotope Evidence for Similarities in the Types of Marine Foods Used by Late Mesolithic Humans at Sites Along the Atlantic Coast of Europe, *Journal of Archaeological Science*, 26(6), pp.717–722, 1999.
- [33] DeNiro M. J., Postmortem Preservation and Alteration of in Vivo Bone Collagen Isotope Ratios in Relation to Palaeodietary Reconstruction, *Nature*, 317, pp.806–809, 1985.
- [34] Ambrose S. H., Preparation and Characterization of Bone and Tooth Collagen for Isotopic Analysis, *Journal of Archaeological Science*, 17(4), pp.431–451, 1990.
- [35] Hedges R. E. M., et al., Collagen Turnover in the Adult Femoral Mid–Shaft: Modeled from Anthropogenic Radiocarbon Tracer Measurements, *American Journal of Physical Anthropology*, 133(2), pp.808–816, 2007.
- [36] a.靳桂云等：《海岱地区史前稻遗存研究》，《东南文化》2017年第5期。
b.赵志军：《新石器时代植物考古与农业起源研究》，《中国农史》2020年第3期。
c.靳桂云：《龙山文化居民食物结构研究》，《文史哲》2013年第2期。
- [37] a.陈松涛等：《山东午台遗址龙山文化聚落生计的植物大遗存证据》，《江汉考古》2019年第1期。
b.郭荣臻等：《胶东地区海岱龙山文化生业考古新证——山东青岛三官庙遗址浮选结果的考古学观察》，《农业考古》2022年第1期。
- [38] a.同[32]。
b.Schoeninger M. J., et al., Stable Nitrogen Isotope Ratios of Bone Collagen Reflect Marine and Terrestrial Components of Prehistoric Human Diet, *Science*, 220(4064), pp.1381–1383, 1983.
c.Minoru Yoneda, et al., Isotopic Evidence of Inland–Water Fishing by a Jomon Population Excavated from the Boji Site, Nagano, Japan, *Journal of Archaeological Science*, 31(1), pp.97–107, 2004.
d.Richards M. P., Trinkaus E., Isotopic Evidence for the Diets of European Neanderthals and Early Modern Humans, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(38), pp.16034–16039, 2009.
- [39] 张旭峰：《海洋底栖动物稳定同位素和脂肪酸组成的地域性差异研究》第21~31页，大连海事大学博士学位论文，2017年。
- [40] 陈相龙等：《从渔猎采集到食物生产：大连广鹿岛小珠山遗址动物驯养的稳定同位素记录》，《南方文物》2017年第1期。
- [41] 同[38]。
- [42] 同[1]。
- [43] Dong Y., et al., Social and Environmental Factors Influencing Dietary Choices among Dawenkou Culture Sites, Late Neolithic China, *The Holocene*, 31(2), pp.271–284, 2020.
- [44] a.王芬等：《即墨北阡遗址人骨稳定同位素分析：沿海先民的食物结构》，《科学通报》2012年第12期。
b.王芬等：《北阡遗址人和动物骨的C, N稳定同位素分析》，《中国科学：地球科学》2013年第12期。
- [45] 同[38]。
- [46] a.Ambrose S. H., Effects of Diet, Climate and Physiology on Nitrogen Isotope Abundances in Terrestrial Foodwebs, *Journal of Archaeological Science*, 18(3), pp.293–317, 1991.
b.Bogaard A., et al., The Impact of Manuring on Nitrogen Isotope Ratios in Cereals: Archaeological Implications for Reconstruction of Diet and Crop Management Practices, *Journal of Archaeological Science*, 34(3), pp.335–343, 2007.
c.Szpak P., et al., Influence of Seabird Guano and Camelid Dung Fertilization on the Nitrogen Isotopic Composition of Field–Grown Maize (*Zea Mays*), *Journal of Archaeological Science*, 39(12), pp.3721–3740, 2012.
- [47] 蔡莲珍、仇士华：《碳十三测定和古代食谱研究》，《考古》1984年第10期。
- [48] 张雪莲等：《古人类食物结构研究》，《考古》2003年第2期。
- [49] 陈松涛等：《中国东部沿海地区龙山时代生业经济的生物考古证据》，《南方文物》2025年第2期。
- [50] 同[3]。
- [51] 同[19]b。

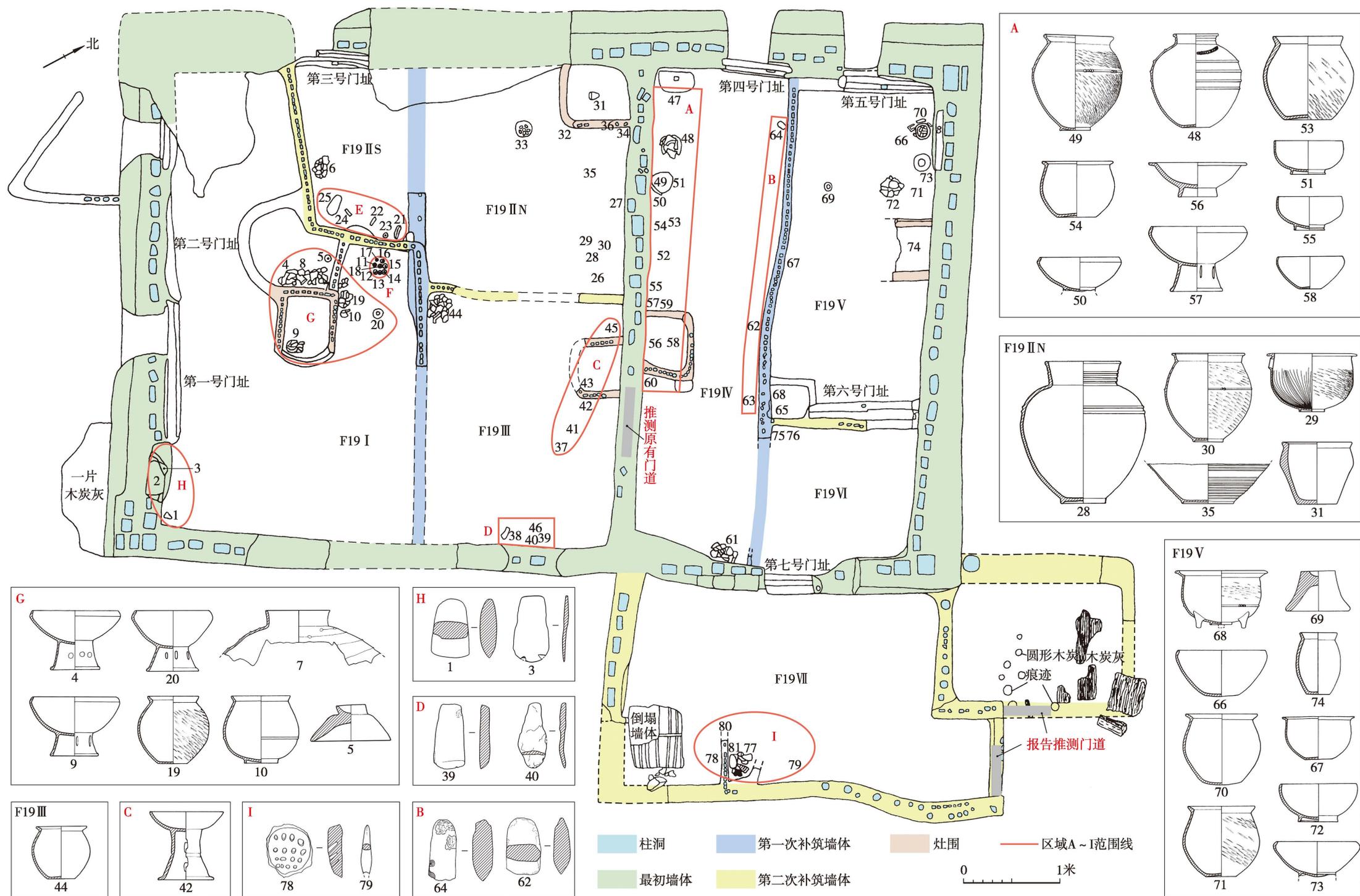
- [52] 同[10]。
- [53] 同[8]b。
- [54] Southon J., et al., Marine Reservoir Corrections for the Indian Ocean and Southeast Asia, *Radiocarbon*, 44(1), pp.167-180, 2002.
- [55] a.同[4]。
b.同[11]。
- [56] 同[13]。
- [57] a.栾丰实:《试析海岱龙山文化东、西部遗址分布的区域差异》,见《海岱考古》第9辑,科学出版社,2016年。
b.栾丰实:《海岱龙山文化的分期和类型》,见《海岱地区考古研究》,山东大学出版社,1997年。
c.李伊萍:《龙山文化:黄河下游文明进程的重要阶段》第41~45页,科学出版社,2005年。以下凡引此书,版本均同。
- [58] 栾丰实等:《两城镇——1998~2001年考古发掘报告》(一)、(二),文物出版社,2016年。以下凡引此书,版本均同。
- [59] 山东大学历史系考古专业教研室:《泗水尹家城》第87~154页,文物出版社,1990年。以下凡引此书,版本均同。
- [60] 国家文物局考古领队培训班:《兖州西吴寺》第31~93页,文物出版社,1990年。
- [61] 中国社会科学院考古研究所:《胶县三里河》第90~143页,文物出版社,1988年。
- [62] 昌潍地区文物管理组、诸城县博物馆:《山东诸城呈子遗址发掘报告》,《考古学报》1980年第3期。
- [63] 赵宾福:《关于双砣子一、二期文化的三点新认识》,《东北史地》2010年第6期。
- [64] 《龙山文化:黄河下游文明进程的重要阶段》第73、74页。
- [65] 《两城镇——1998~2001年考古发掘报告》(二)第586、587页。
- [66] 《泗水尹家城》第138、139、319页。
- [67] 《两城镇——1998~2001年考古发掘报告》(二)第517、518页。
- [68] 《泗水尹家城》第136、137页。
- [69] 旅顺博物馆、辽宁省博物馆:《旅顺于家村遗址发掘简报》,见《考古学集刊》第1集,中国社会科学出版社,1981年。
- [70] 《两城镇——1998~2001年考古发掘报告》(二)第905、906页。
- [71] 中国社会科学院考古研究所:《双砣子与岗上——辽东史前文化的发现和研究》第63页,科学出版社,1996年。
- [72] 山东省文物考古研究所、北京大学考古实习队:《山东栖霞杨家圈遗址发掘简报》,《史前研究》1984年第3期。
- [73] 中国社会科学院考古研究所:《胶县三里河》第108~110页,文物出版社,1988年。
- [74] 《两城镇——1998~2001年考古发掘报告》(二)第948页。
- [75] 同[71]。
- [76] 同[62]。
- [77] 旅大市文物管理组:《旅顺老铁山积石墓》,《考古》1978年第2期。
- [78] 同[64]。
- [79] 《两城镇——1998~2001年考古发掘报告》(二)第625、871页。
- [80] 国家文物局考古领队培训班:《兖州西吴寺》第93页,文物出版社,1990年。
- [81] 《两城镇——1998~2001年考古发掘报告》(二)第926页。
- [82] 同[71]。
- [83] 同[57]。
- [84] a.《龙山文化:黄河下游文明进程的重要阶段》第27~30页。
b.同[71]。
- [85] a.张弛:《龙山化、龙山时期与龙山时代——重读〈龙山文化和龙山时代〉》,《南方文物》2021年第1期。
b.同[57]a。
- [86] 同[57]a。
- [87] 同[85]a。
- [88] a.方辉:《岳石文化的分期与年代》,《考古》1998年第4期。
b.中国社会科学院考古研究所:《中国考古学·夏商卷》第446、447页,中国社会科学出版社,2003年。
- [89] 同[63]。
- [90] 同[57]a。
- [91] 同[10]。

(责任编辑 刘天歌)



图七 F15平面及出土遗物分布图

A: 86、89.陶缸 87.陶凹底罐 88.陶盆形小碗 90、91.陶多孔器 92.石锄 93.陶器盖 B: 69.陶曲腹杯 70、72、73.陶碗 71、95.陶研磨棒 74.陶刻槽盆 94.小陶杯 C: 33.陶刻槽盆 34.石锄 35、42.石耜 36.陶矮圈足罐 37.陶高领罐 38.陶曲腹杯 39.陶圈足盘 40.陶圈足盆 41.石斧 D: 47.陶圈足钵 48.小陶罐 49.陶多孔器 50、51.陶研磨棒 52~57、61~63.陶纺轮 58.磨石 59.陶凹底罐 60、64.石铲 65.石锄 66.骨镞 67.陶矮圈足罐 96.石凿 97.石镰 E: 1.陶敛口钵 2、16、22、28.石斧 3.石铲 4.陶器盖 5、7、9、11、15、17、19、26.陶纺轮 6.石耜 8.石犁 10.骨笄 12.小陶杯 13.小陶盆 14、23、24.骨镞 18.陶圈足钵 20、21.石凿 25.陶研磨棒 27.陶环 F15VI: 76.陶矮圈足小瓮 77、80.陶圈足钵 78、79.石斧 81.陶盆形小碗 82.陶凹底罐 83.骨镞 84.石犁 其他: 29.陶纺轮 30.石凿 31.石锄 32.石球 43、85.石犁 44.石铲 45、68.石斧 46.陶多孔器 75.陶圈足盘 98.杏核 99.螺蛳壳 (F15平面图据《枣阳雕龙碑》图一—改绘, 图中编号即为原器物编号)



图八 F19平面图及出土遗物分布图

A: 47.石斧 48.陶小口圆腹罐 49.陶矮圈足大瓮 50.陶圈足钵 51、55.陶碗 52.骨器 53、54.陶凹底罐 56.陶盆形小碗 57.陶圈足盘 58.陶敛口钵 59.陶器盖 60.石耜 B: 62、64.石斧 63.石耜 C: 37、41.陶多孔器 42.陶圈足盘 43.陶研磨棒 45.石斧 D: 38.石镰 39.石铲 40.石犁 46.石钺 E: 21.石镰 22、24.石凿 23.陶纺轮 25.石耜 F: 11~18.陶纺轮 G: 4、9、20.陶圈足盘 5.陶器盖 7.陶瓦纹罐 8.陶环 10.陶矮圈足罐 19.陶平底罐 H: 1.石斧 2.石磨盘 3.石耜 I: 77.石磨盘 78.陶多孔器 79.骨镰 80、81.小米 F19 II: 6.陶小口圆腹罐 26、27.陶纺轮 28.陶高领罐 29.陶刻槽盆 30.陶矮圈足大瓮 31.小陶罐 32.石镰 33.陶多孔器 34.石钺 35.陶瓦纹罐 36.陶研磨棒 F19 III: 44.陶凹底罐 F19 V: 65.石斧 66.陶敛口钵 67.陶盆 68.陶鼎 69.陶器盖 70.陶平底罐 71.陶凹底罐 72.陶碗 73.陶圈足钵 74.小陶罐 F19 VI: 75.陶矮圈足罐 76.陶圈足钵 其他: 61.陶鼎 (F19平面图据《枣阳雕龙碑》图一二二改绘, 图中编号即为原器物编号)