

渤海湾全新世牡蛎礁:时空分布和海面变化标志点

王海峰^{1,2}, 裴艳东¹, 刘会敏³, 范昌福⁴, 王 宏¹

WANG Hai-feng^{1,2}, PEI Yan-dong¹, LIU Hui-min³, FAN Chang-fu⁴, WANG Hong¹

1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083;

3. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 4. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

1. *Tianjin Center of China Geological Survey (CGS), Tianjin 300170, China;*

2. *School of Marine Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

3. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;*

4. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

摘要:以他人和本研究小组对渤海湾西北岸牡蛎礁平原、毗邻浅海区的全新世埋藏牡蛎礁和现生牡蛎礁的研究为基础,重新修订了与礁体有关的数据的沉积学意义及年龄,进一步厘定了牡蛎礁的形成时间、礁体顶板和底板的高度。在原有的 9 个礁群的基础上,增加了目前发现的最老的早全新世晚期礁群;在沿海低地新发现的滨海湖、空港牡蛎礁,暂作为北淮淀礁群的亚礁群。根据对大吴庄等 3 处礁体顶板的水准测量,发现礁顶最大起伏为 $\pm 0.7\text{m}$,以此作为礁顶自身的垂直误差范围。据对北淮淀等 5 个礁体的“最后一个砂质纹层”高度的调查,推断礁顶上覆潮间带泥层的平均厚度为 1.6m。该厚度是当地海平面与平均高潮位之间的调适空间所能提供的最大堆积厚度,成为支持礁顶高度对应海平面的佐证。根据上述结果,确定了渤海湾牡蛎礁顶板作为海面变化标志点的条件。该研究是重建牡蛎礁平原全新世相对海面变化曲线和探讨其与气候变化关系的基础。

关键词:牡蛎礁时空分布;礁体顶板;海面变化标志点;渤海湾

中图分类号:P534.63²; P736

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)09-1396-09

Wang H F, Pei Y D, Liu H M, Fan C F, Wang H. Holocene oyster reefs: spatial and temporal distribution and sea level indicators in Bohai Bay. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(9): 1396-1404

Abstract: Based on studies of the Holocene buried and living oyster reefs on the Oyster Reef Plain and its adjacent shallow sea area of northwest Bohai Bay, this paper has reexamined the sedimentary significance and chronology of the data related to the oyster reefs, and further collated the formation period as well as top and bottom altitudes of each reef group. The newly discovered oldest (the late Early Holocene) reef group, i.e., Group Pre-I-1, was added to the originally determined nine reef-groups. Also, newly discovered reefs at the Binhai Lake and the airport area are tentatively assigned to the Reef V as its subgroup V-1. Leveling for top altitude fluctuations in Dawuzhuang and other two reef sites indicates that the maximum fluctuation of the reef-top is $\pm 0.7\text{m}$, which is used as the vertical error range. The investigation of the altitude of LISL (the last irregular sandy/silty lamina) above the reef-top in five reef sites, including Beihuaidian reef, reveals that the average thickness between the reef top and the LISL is approximately 1.6m, which is the maximum vertically accreting thickness given by the local accommodation space between the MSL and MHW. It serves as evidence verifying a conclusion that the reef top corresponds to the msl. Thus, the reef top used as the sea level indicator is defined, i.e., the vertical range by adding $\pm 0.7\text{m}$ to the reef top corresponds to the MSL.

Key words: spatial and temporal distribution of the oyster reefs; top of oyster reefs; sea level indicator; Bohai Bay

收稿日期:2011-03-18;修订日期:2011-07-12

资助项目:国家自然科学基金项目《渤海湾西北岸埋藏牡蛎礁记录的中全新世古环境变化》(批准号:40872106)和中国地质调查局项目《泥质海岸带对全球变化的响应与趋势预测》(编号:1212010911069)

作者简介:王海峰(1986-),男,在读硕士,研究方向为牡蛎礁古环境重建。E-mail:whaifeng@cgs.cn

通讯作者:王宏(1948-),男,博士,研究员,从事泥质海岸带第四纪地质学研究。E-mail:whong@cgs.cn

牡蛎礁与贝壳堤是渤海湾沿海平原 2 类重要的地质体,其形成、消亡及与泥质沉积物的交替,是该地区全新世地质演化的重要特征。探索这一过程的细节,进而揭示它们记录的古环境变化,对于认识渤海湾泥质海岸带的形成机制、海面和古气候变化,具有重要意义。

牡蛎礁研究始于 1970 年代末^[1],在 1980~90 年代获得了一批成果^[1~4]。1990 年代以来,笔者研究小组继续这一研究,在牡蛎属种命名、生态习性、壳体形态研究,壳体 O-C-Sr 稳定同位素组成的高分辨率分析,有孔虫与硅藻微体古生物学、年代学、地层

关系、正常建礁层与水平夹层的关系、成因研究,礁群时空分布、古环境重建等方面,取得了一批新的成果^{[5~24](2~6)}。

本文通过考证前人 30 余年和研究小组 20 余年来的成果,进一步研究牡蛎礁的年代学数据、沉积学意义、时空分布特征和作为海面变化标志点的条件。

1 数据处理

笔者研究小组搜集到的牡蛎礁平原 ¹⁴C 数据约 170 余个,依据与贝壳堤数据相同的处理过程(参见本期苏盛伟等的文章),本文对其中与牡蛎礁关系密

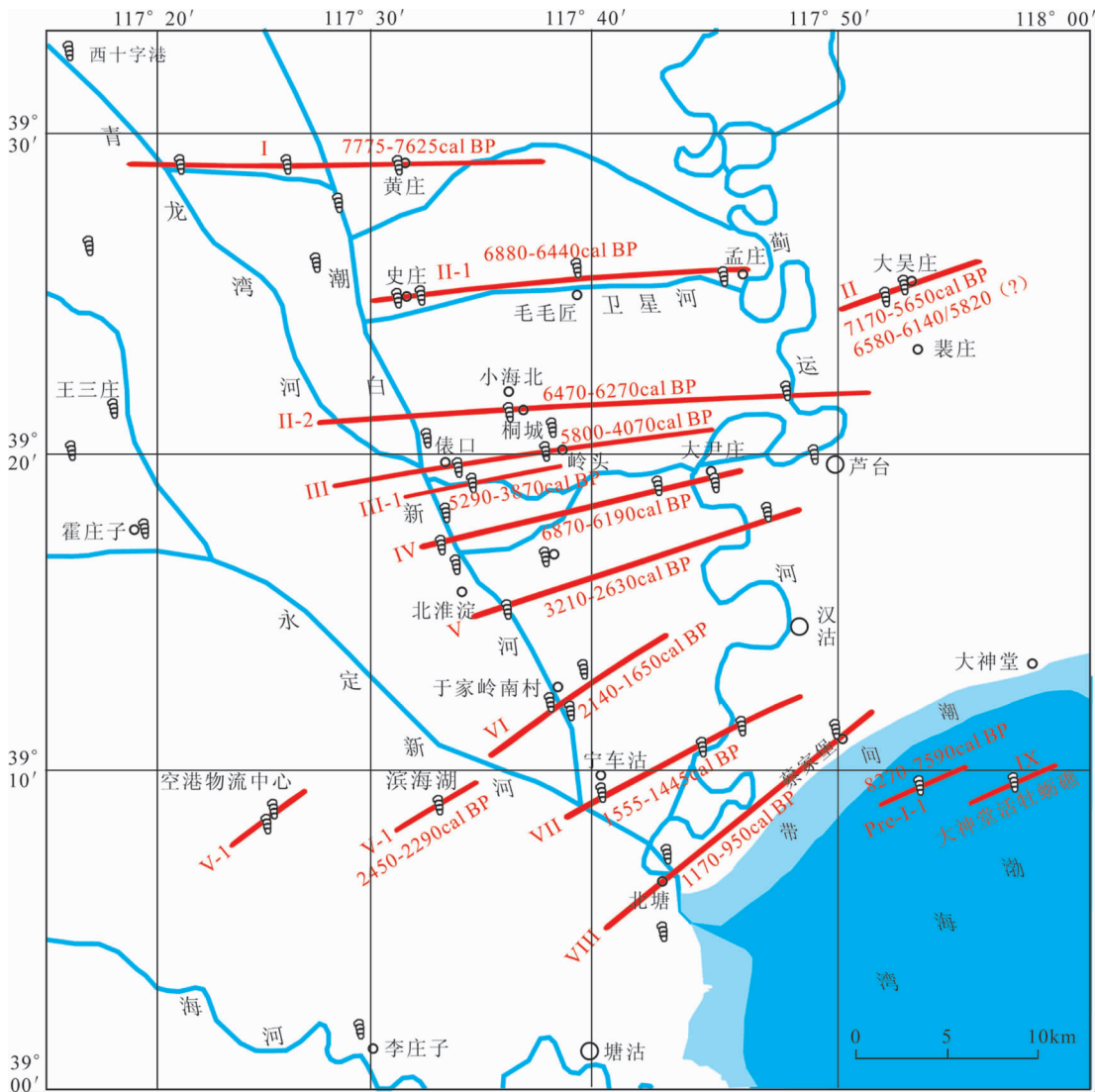


图 1 牡蛎礁平原礁群时空分布
(Pre-I-1 是迄今发现的全新世最早的牡蛎礁,据参考文献[5]修改)
Fig. 1 Spatial and temporal distribution of the oyster reef groups, the Oyster Reef Plain, northwestern Bohai Bay

表 1 牡蛎礁顶、底板高程、起讫年龄、历时及其与现代岸线之间的距离
Table 1 Altitudes of top and bottom of reef bodies, top fluctuations, existing periods, durations and distances from the present coastal line

礁群 编号	地 点	礁体顶板 高程/m	顶板起伏 幅度/m	礁体底板 高程/m	礁顶时间 /cal BP	起讫时间/历时 (cal BP/a)	距现代 岸线/km
Pre-I -1	CH79 孔海区	约-14.9	-14.9±0.7	约-15	8270	8270~7590/680	约-5
I	东老口-黄庄	约-1.1	-1.1±0.7	约-2.6	7625	7775~7625 / 150	约 50
II	大吴庄剖面 1 大吴庄剖面 6	-2.60	-2.60±0.7	约-7.52	5650 6140~5820	7170~5650 / 1520 6580~6140/5820 (?) / 440~760 (?)	约 40
II-1	史庄-姜庄- 毛毛匠	约-2	-2±0.7	约-4	6440	6880~6440 / 440	约 40
II-2	大海北-小海 北-桐城	约 0	0±0.7	约-2	6270	6470~6270 / 200	约 32
III	依口-岭头	-1.82 (-2.23*)	-1.82 ±0.7	约-7.6 (-3.3*)	4070	5800~4070 / 1730	约 30
III-1	罾口河	约-3.1	-3.1±0.7	约-7.4~-9.4 (?)	3870	5290~3870 / 1420	约 28
IV	七里海	约-2.3	-2.3±0.7	约-6.3	6190	6870~6190 / 680	约 24
V	北淮淀	-2.44	-2.44±0.7	约-4.4	2630	3210~2630 / 580	约 21
V-1	滨海湖-空港	-3.31 (-2.91**)	-3.31±0.7	约-5.3 (-5.23**)	2290	2450~2290 / 160	约 23
VI	于家岭	约-1.8	-1.8±0.7	约-3.3	1650	2140~1650 / 490	约 15
VII	营城	约-1	-1±0.7	约-2	1445	1555~1445 / 110	约 7
VIII	北塘	约-1	-1±0.7	约-1.4	950	1170~950 / 220	约 1
IX	大神堂海区	约 0	0±0.7	约-3	现代	已存活数百年 (?)	约-7

注:现代岸线西北侧(现代岸线向陆一侧)的全新世埋藏礁体与现代岸线间的距离,习惯上以正值表示;现仍生活于大神堂海区的活礁体在现代岸线以外约 7km 的浅海区,其与现代岸线间的距离则以负值表示。*岭头礁体,**空港礁体。高程值系黄海 85 高程

切的 59 个数据的沉积学和年代学意义做了详尽的研究和取舍 (另有研究小组在大吴庄礁体剖面 6 获得的 31 个 AMS 年龄, 本文仅选用其起讫年龄, 详细讨论将在另文展开)(表 1、表 2,图 1)。

2 牡蛎礁时空分布

笔者研究小组对牡蛎礁的初始阶段 1 和 2,正常建礁层和水平夹层,起讫年龄和历时,各礁体的地理位置,进而 9 道礁群的大致划分,已有论述^[5](表 1、表 2)。近年来,在渤海湾西北部浅海区、滨海湖、空港物流中心又发现了新的礁体^{[17](7-9)};大吴庄礁体

在继剖面 1 第一批 15 个液体闪烁计数器法 ¹⁴C 年龄之后,又获得了剖面 6、剖面 9 的 32 个 AMS ¹⁴C 数据⁽⁵⁻⁶⁾和 14 个 OSL 数据^{[22](6)}。根据前人和研究小组的积累,本文增补、重绘了牡蛎礁平原礁群分布图(图 1),进一步厘定了各礁群的起讫时间,并增加了迄今发现的全新世最早的礁群——浅海区 CH79 孔礁群 Pre- I -1(表 1、表 2)。

3 礁顶板海面变化标志点

与将贝壳堤底板作为海面变化标志点相同,牡蛎礁顶板作为标志点同样必须满足 2 个条件。一是

表 2 渤海湾西北部牡蛎礁 ¹⁴C 数据和海面变化标志点
Table 2 ¹⁴C data and sea level index points of the oyster reefs in northwestern Bohai Bay

礁群 编号	实验室 编号	数据库 编号	地点、层位及测试物	¹⁴ C 直接测 定值/aBP	常用或近似值 用年龄/aBP	校正年龄/cal BP	原始 出处	说 明
Pre								
I-1								
1	BA08822	—	CH79 孔, <i>Cressostrea gigas</i> 礁体, 牡蛎壳	—	6935±35	7580 (7652-7538)	研究小组未发表数据	位于渤海湾西北部浅海区, 孔口高程-3.4m, 礁体顶板-11.85m、底板-15.05m。该样取自-12.2m
2	BA08823	—	同上	—	7275±40	7913 (7844-7975)	—	-13.3m 牡蛎壳
3	BA08824	—	同上	—	7625±35	8270 (8202-8334)	—	-14.9m 牡蛎壳
I								
1	ZDL-26	68	宝坻区东老口铅孔牡蛎壳 <i>Cressostrea gigas</i>	6655±110	7014±17	7665 (7783-7552)	[28]	仅有这 2 个可用的 ¹⁴ C 年龄。取礁体厚 1~1.5m ^[28] 。另有认为东老口礁体厚 5m ^[3-4] , 似过厚, 存疑。本文有 2 种推测: ①将上述 2 个年龄作为该礁体起迄时间, 历时仅 80 年(=7744-7665)。按正常建礁 1~1.7cm/a 推断, 1~1.5m 厚的礁体历时 80 年稍显短。②因此, 推测历时是 150 年(=初始阶段 10 年+建礁 90 或 150 年)。取 7665 和 7744 的平均值即 7700 cal BP 为中点, 历时 150 年, 起迄时间 7775-7625 cal BP。③当然, 若礁体内还有夹层(这种可能性是存在的, 尽管 20-30 年前的文献对此未有记载), 历时还会再长一些。该礁群礁顶高度约-1.1m, 起迄时间 7775-7625 cal BP
2	ZDL-	255	武清区黄庄, <i>C. gigas</i>	6744±87	7103±96	7744 (7845-7639)	[28]	—
3	ZK-1437	421	武清区里自沽, <i>C. gigas</i>	3780±80	4139±90	4447 (4580-4288)	[29]	偏年轻, 舍弃
II								
1	2003Y084	580	丰南区大吴庄礁体剖面 1, 礁顶以下 0~0.3m, <i>C. gigas</i> , 礁顶高程-2.60m	4742±100	5101±108	5632 (5790-5525)	[12,15]	—
2	2003Y085	581	大吴庄剖面 1, 礁顶以下 0.7~0.9m, <i>C. gigas</i>	4655±100	5014±108	5532 (5693-5433)	[12,15]	—
3	2003Y086	582	剖面 1, 礁顶以下 1.1~1.5m, <i>C. gigas</i>	4810±100	5169±108	5723 (5845-5602)	[12,15]	大吴庄礁体剖面 1 的 15 个液体闪烁计数器方法获得的 ¹⁴ C 数据显示从下向上年龄逐渐年轻的特征 ^[5] 。底部 7170 cal BP (底部 2 个数据 7265、7076 cal BP 的平均值)、顶部 5652 cal BP。2010 年在剖面 6 及相邻剖面 9 获得了 31 个 AMS ¹⁴ C 年龄, 起迄时间却是 6580~6140/5820(?) cal BP。2011 年, 又将剖面 1 的 15 个已经液体闪烁测年的个体重新送 AMS 测量。在获得这一新的校验结果前, 目前的 2 个结果均采用。礁顶高度-2.60m, 起迄时间: ①7170-5650 cal BP, ② 6580-6140/5820(?)
4	2003Y087	583	剖面 1, 礁顶以下 1.7~1.9m, <i>C. gigas</i>	5150±150	5509±155	6085 (6259-5921)	[12,15]	—
5	2003Y088	584	剖面 1, 礁顶以下 2~2.2m, <i>C. gigas</i>	5150±110	5509±117	6087 (6211-5940)	[12,15]	—
6	2003Y089	585	剖面 1, 礁顶以下 2.2~2.4m, <i>C. gigas</i>	5471±100	5830±108	6435 (6549-6295)	[12,15]	—
7	2003Y090	586	剖面 1, 礁顶以下 2.5~2.7m, <i>C. gigas</i>	5510±100	5869±108	6476 (6605-6344)	[12,15]	—
8	2003Y093	589	剖面 1, 礁顶以下 3m, <i>Rapana</i>	5228±150	5587±155	6167 (6327-5976)	[12,15]	—
9	2003Y091	587	剖面 1, 礁顶以下 3~3.3m, <i>C. gigas</i>	5743±230	6102±233	6746 (7005-6456)	[12,15]	—
10	2004Y257	—	剖面 1, 礁顶以下 3.8~4.1m, <i>C. gigas</i>	6113±100	6472±108	7163 (7022-7289)	[15]	—
11	2004Y258	—	剖面 1, 礁顶以下 3.9~4.2m, <i>C. gigas</i>	5909±370	6268±372	6910 (6521-7312)	[15]	—
12	2003Y092	588	剖面 1, 礁顶以下 4.2~4.3m, <i>C. gigas</i>	5238±130	5597±136	6178 (6310-5993)	[12,15]	—
13	2004Y259	—	剖面 1, 礁顶以下 4.2~4.5m, <i>C. gigas</i>	5763±170	6122±175	6759 (6652-6861)	[15]	—
14	2004Y087	623	剖面 1, 礁顶以下 5~5.3m, <i>C. gigas</i>	6210±120	6569±127	7265 (7146-7416)	[15]	—
15	2004Y086	622	剖面 1, 礁顶以下 5.3~5.6m, <i>C. gigas</i>	6035±110	6394±117	7076 (6941-7230)	[15]	—
16	BA091202	—	大吴庄剖面 9, 礁体上覆泥层最底部(礁顶之上约 1cm 处)半炭化树枝	—	4810±35	5520 (5483-5528)	(6)	—
II-1								
1	WB77-43	19	宁河县史庄地表以下约 2m, <i>C. gigas</i>	5775±85	6134±94	6775 (6895-6645)	[30]	3 处礁体共有 8 个年龄, 时间范围 7397~5950 cal BP。历时 1450 年。根据年龄, 史-姜-毛礁体与大吴庄礁体应是同一道礁群。但是, 史-姜-毛礁体厚度仅 2m, 远小于大吴庄礁体的 5.5m。1450 年的历时似过长, 即 8 个数据中恐有测不准的情况。因此, 本文舍弃偏老、偏年轻的 4 个年龄, 剩余 4 个 ¹⁴ C 年龄估算的礁体持续时间是 6877-6439 cal BP ^[3] 。本文将史-姜-毛作为礁群 II 的一部分, 仅在其中的一个时间段 (6877-6439 cal BP) 发育, 因此编为 II-1。本文据文献[4]图 3 推测, 姜庄礁顶比侯口礁顶低 0.1~0.2m。据笔者对侯口礁体的水准测量, 推测此处礁顶高度约-2m, 样均取自礁顶。该礁群礁顶高度-2m, 起迄时间 6880-6440 cal BP
2	ZK-5241	18	宁河县姜庄, 地表以下 4m, <i>C. gigas</i>	5475±100	5834±108	6439 (6552-6298)	[31]	—
3	TD-343	155	姜庄, 地表以下 3~4m, <i>C. gigas</i>	5530±100	5889±108	6497 (6632-6372)	[32-33]	—
4	TD-344	156	宁河县史庄地表以下 3~4m, <i>C. gigas</i>	5860±95	6219±103	6877 (7005-6725)	[32-33]	—

续表 2-1

礁群 编号	实验室 编号	数据库 编号	地点、层位及测试物	¹⁴ C 直接测 定值aBP	惯用或近似惯 用年aBP	校正年龄cal BP	原始 出处	说 明
5	CG-181	20	姜庄-史庄, 地表以下3.5~4m, <i>C. gigas</i>	5020±140	5379±146	5950(6149~5766)	[31]	4 个数据, 年龄偏老或偏年轻, 与礁体厚度不符, 均舍弃
6	CG-187	14	宁河县毛毛匠, <i>Mactra quadrangulans</i>	5320±75	5679±85	6273(6381~6178)	[32~33]	
7	TD-5	65	毛毛匠, 地表以下2~3m, <i>C. gigas</i>	6350±105	6709±112	7397(7501~7284)	(11)	
8	TD-342	154	宁河县孟庄, <i>C. gigas</i>	5070±115	5429±122	6008(6168~5879)	[3]	
II-2								
1	GC-175A	22	宁河县芦台闸口牡蛎礁, <i>C. gigas</i>	5410±250	5769±253	6374(6664~6086)	[34]	6664~6086 cal BP 过于宽泛, 根据 2005 年调查该礁群的栉城礁体厚 1.5~2m, 且未见水平夹层, 本文试以校正年龄的中值概率 6374 cal BP 为中点, 以±100 年为其近似历时。作为礁群II 的一部分, 仅在其中的一个时间段 (6470~6270 cal BP) 发育, 因此编为II-2。取样处~2m, 推测应取自礁体底部。礁顶高程推测为 0 m, 起迄时间 6470~6270 cal BP
2	TD-403	259	宁河县大海北, 有机质泥层	4820±110	4788±117	5509(5637~5326)	[35](12)	根据层位对比, 该有机质层应置于礁体之上, 因此礁体死亡时间肯定老于该年龄。但据礁体厚(仅 2m)及 GC-175A 年龄推断的礁体历时, 可知该数据太过年轻, 舍去
III								
1	UC-7036	515	宁河喇叭口牡蛎礁, 礁顶之下0.05m, <i>Trapezium liratum</i> , 礁顶高程-1.82m	—	3865±35	4067(4146~3973)	[5,13](10)	该样取自礁顶处, 视为礁体结束时的年龄。7 次正常建礁累计需时约 530 年 (=7 次初始阶段 70 年 + 4.6m 厚正常建礁层 460 年), 6 个水平夹层共计约 1200 年 (约为 200 年/层×6 层) ^[5] 。因此礁体底部的年龄推断约为 5800 cal BP (=4070+1730)。该礁体顶部高度-1.82m, 起迄时间 5800~4070 cal BP
2	98Y078	524	喇叭口礁顶之下 0.05m, <i>Trapezium liratum</i>	4441±100	4815±108	5334(5517~5206)	[5](10)	与 UC-7036 是同一大样, 偏老 (>1260 年), 舍弃
3	TD-388	262	喇叭口, 礁顶之下0~0.3m, <i>C. gigas</i>	2380±75	2739±85	2671(2785~2528)	[3]	礁顶同一层位的 3 个样的年龄介于 5020~2670 cal BP 之间, 误差过大, 舍弃
4	TD-399	260	喇叭口, 礁顶之下0~0.3m, <i>C. gigas</i>	2640±90	2999±99	2988(3124~2841)		
5	TD-364	261	喇叭口, 礁顶之下0~0.3m, <i>C. gigas</i>	4210±80	4569±90	5017(5175~4851)		
6	TD-398	263	喇叭口, 礁顶之下0.3~0.6m, <i>C. gigas</i>	3890±90	4249±99	4596(4772~4449)	[3]	礁体内部的 7 个数据与深度的相关性差, 舍弃
7	TD-389	264	喇叭口, 礁顶之下0.9~1.1m, <i>C. gigas</i>	2980±80	3339±90	3406(3539~3296)		
8	TD-365	265	喇叭口, 礁顶之下1.1~1.3m, <i>C. gigas</i>	3870±140	4229±146	4565(4792~4397)		
9	TD-397	266	喇叭口, 礁顶之下1.7~2m, <i>C. gigas</i>	2740±90	3099±99	3107(3249~2958)		
10	TD-396	267	喇叭口, 礁顶之下2.2~2.5m, <i>C. gigas</i>	3040±80	3399±90	3477(3589~3354)		
11	TD-390	268	喇叭口, 礁顶之下3~3.2m, <i>C. gigas</i>	5550±100	5909±108	6518(6648~6390)		
12	TD-395	269	喇叭口, 礁顶之下3.3~3.5m, <i>C. gigas</i>	4620±90	4979±99	5514(5637~5395)		
13	TD-394	270	喇叭口, 礁顶之下4.6~4.9m, <i>C. gigas</i>	5710±145	6069±150	6701(6876~6501)	[3]	据文献[3] 该样在礁顶之下约 4.9m, 取自礁体底部, 但笔者调查该礁体厚约 5.8m ^[6] 。依后者, 礁底高程设定为-7.6m, 初始年龄是 5800 cal BP ^[5] 。数据偏老 (900 年), 舍弃
14	TD-393	271	喇叭口, 礁顶之下5~5.1m, 含有机质泥	6480±110	6448±117	7356(7462~7250)	[3]	与礁体无明确的层位关系, 舍弃
15	ZK-S04-I	30	喇叭口, 地下4~6m, <i>C. gigas</i>	3705±85	4064±94	4339(4494~4202)	[31]	
16	ZK-1058	223	喇叭口 P5-2 孔, 地下3.9~5.5m, <i>C. gigas</i>	4940±70	5299±81	5849(5942~5729)	[36]	
17	ZK-1059	224	P5-2 孔, 地下7.48~9.48m, <i>C. gigas</i>	5250±70	5609±81	6197(6299~6088)	[36]	
18	2000Y109	537	丰南区岭头牡蛎礁礁顶之下0.1~0.2m, 与牡蛎共生的 <i>Trapezium liratum</i> , 礁顶高程-2.23m	3557±100	3916±108	4141(4302~3971)	[5](10)	与喇叭口礁体顶部的 4067 cal BP 相近, 这 2 个礁体地理位置相同、礁顶年龄相近, 划归同一礁群是适当的。经与喇叭口礁体联系, 该处礁体顶部高度-2.23m, 礁体厚约 1.1m, 底部高度因此是-3.3m
19	2000Y108	536	岭头, 礁顶之下0.2~0.6m, <i>C. gigas</i>	3702±90	4061±99	4335(4490~4185)	[5](10)	位于 2000Y109 之下, 时间早约 200 年。二者 1 倍标准偏差的时间范围重叠约 120 年, 是解释得通的
III-1								
1	TD-401	273	宁河县晋河口牡蛎礁, 礁体顶部, <i>C. gigas</i>	3360±90	3719±99	3874(4010~3708)	[3]	晋河口河床礁体经 2006 年测量厚 4.3~6.3m, 5 个水平夹层, 5 个水平夹层按总厚 1m 计, 正常建礁层总厚是 3.6m。礁体历时约 1420 年 (=6 次初始阶段 60 年+3.6m 正常建礁 360 年+5 个水平夹层 1000 年)。起迄时间 5290~3870 cal BP, 该时段与喇叭口的 5800~4070 cal BP 相比, 起始时间被其涵盖, 但结束时间晚 200 年。因此, 编为 III-1 礁群。据文献[3], 该处礁顶与喇叭口礁顶相比, 约低 1.3m。按喇叭口礁顶约-1.8m 计, 推测此处礁顶高度约-3.1m, 因此推测礁底高程-7.4~-9.4m

续表 2-2

礁群 编号	实验室 编号	数据库 编号	地点、层位及测试物	¹⁴ C 直接测 定值aBP	测用或近似测 用年龄aBP	校正年龄cal BP	原始 出处	说 明
IV								
1	TD-359	274	宁河县官地牡蛎礁, <i>C. gigas</i> 礁体底部, C.	38 60±1 40	6219±146	6873(7177-6615)	[3]	据文献[3], 该样取自礁体底部 取样位置比礁口礁顶约低 4.5m, 因此推测该礁体底部高程是-6.3m。据礁体厚度, 本文设有水平夹层 2 层, 总厚 0.5m; 余为 2.5m 厚的 3 层正常建礁层。正常建礁累计需时~280 年(=3 次初始阶段 30 年+2.3m 厚正常建礁 250 年)。2 层水平夹层共历时~400 年。按此推算, 正常建礁与水平夹层共 680 年。据底部年龄及历时, 反推礁体结束时间应为 6190 cal BP。其起始时间, 与礁群 II-1、II-2 相当。礁顶高度约-2.3m, 起始时间 6870-6190 cal BP
V								
1	U1C-2295	473	宁河县北淮淀牡蛎礁, 礁体顶部的 <i>C. gigas</i> 个体 BH11, 生长层 no.34', 礁顶高-2.44m	—	2660±60	2582(2704-2491)	(2)	Eijkkelamp 槽型取芯钻揭露礁体厚 1.2m ^[10] , 但其他研究者观察厚 2m ^[1] , 访问当地水利部门厚 4m。本文按 2m 计。礁顶年龄据同一个体 2 个生长层年龄 2582 和 2654 cal BP 的平均值, 是 2633 cal BP。近顶部处发现 1 层水平夹层, 推测中下部还有 1 层, 二者总厚 0.5m。正常建礁层 3 层, 总厚 1.3m(=2-0.5), 历时 180 年(=3 次初始阶段 30 年+1.5m 厚正常建礁 150 年), 2 个水平夹层历时 400 年。但 2 者相加, 仍远小于据已知礁底年龄 3876 cal BP 获得的 1240 年的历时, 试将此解释为底部年龄 3876 cal BP 偏老。按正常建礁与水平夹层总历时 580 年, 以及顶部年龄 2633 cal BP, 推测底部年龄应为 3210 cal BP (=2633+580)。礁顶高程-2.44m, 起始时间 3210-2630 cal BP
2	U1C-2296	474	北淮淀, 与 U1C-2295 是同一个体(BH11)的另一生长层, no.89	—	2720±60	2654(2751-2549)	(2)	该数据比据礁体厚度及水平夹层历时推测的起始年龄 3210 cal BP 要老 600 余年, 舍弃。据礁顶高程和推测的礁体厚度, 推测该礁体底部高程是约-4.4m
3	TD-8	66	北淮淀, <i>C. gigas</i>	33 60±1 10	3719±117	3876(4043-3701)	[12, 35](12)	同样取自该礁体底部, 但年龄较 TD-8 还要老约 700 年, 舍弃
4	TD-355	251	北淮淀, <i>C. gigas</i>	38 75±1 20	4234±127	4573(4774-4418)	[13]	
5	TD-354	431	北淮淀, <i>C. gigas</i>	20 20±1 00	2379±108	2224(2348-2057)	[13, 35](12)	
6	—	335	北淮淀, <i>C. gigas</i>	21 15±80	2474±90	2355(2483-2183)	[13]	与 U1C-2295 和 2296 给出的礁顶年龄相比, 太过年轻, 舍弃
7	ZK-506-I	37	北淮淀, <i>C. gigas</i>	24 45±85	2804±94	2760(2912-2654)	[31]	包含在该礁体的起始范围内, 供参考
V-1								
2006Y08	—	—	滨海湖牡蛎礁, <i>C. gigas</i> , 取自礁顶处, 高度约-3m	2130±80	2489±90	2287(2134-2409)	[17]	滨海湖礁顶 9 个点的高程在-2.96~-4.36m 之间, 取 9 点平均值-3.31m 作为礁顶高度, 厚度约 2m, 未见水平夹层, 起始时间为 2450-2290cal BP, 礁体高度-5.3~-3.3m
2006Y083	—	—	滨海湖, <i>C. gigas</i> , 取自礁体中下部约-4.2m 处	2240±80	2599±98	2445(2311-2593)		
2	—	—	空港技术园区牡蛎礁, <i>C. gigas</i> 礁顶高-2.93m	—	—	—	(9)	礁顶高度在-2.70~-3.16m 之间变化, 取平均值。礁底高-5.3m。等待 AMS ¹⁴ C 结果。根据其地理位置, 暂将其归入 V-1 礁群
VI								
1	TD-356	276	宁河县于家岭大桥, <i>C. gigas</i>	18 30±1 00	2189±108	2001(2140-1654)	[3]	在潮白新河床斜坡高、低不同的 2 处出露, 但未能揭露礁体底板, 推断厚 1.5m。依文献[3]表 1, 该处礁顶与礁口礁顶等高。据笔者对礁口礁体的水准测量, 推测此处礁顶高度约-1.8m、礁底高程约-3.3m。推测水平夹层 1 层, 厚 0.25m。1.25m 厚正常建礁层需历时 145 年(=2 次初始阶段 20 年+正常建礁 125 年), 水平夹层历时 200 年, 共 345 年。由此推断该礁体的起始约在 2350 cal BP, 即起始时间 2350-2000 cal BP。另一算法是依顶部年龄的 1 倍标准偏差范围 2140-1650 cal BP。顶板高度 1.8m
2	TD-357	250	于家岭大桥, <i>C. gigas</i>	35 45±1 10	3904±117	4125(4302-3949)	[3]	偏老, 舍弃
VII								
1	—	—	潮运河左岸 Eijkkelamp 全取心钻孔 (No.), <i>C. gigas</i> 壳, 厚度推断 1m	—	—	—	[5]	介于于家岭与北塘礁群之间, 说其存在时间是 1500 cal BP 前后, 并按礁体推测厚度给定礁体持续时间约 110 年(初始阶段 10 年+厚度 1m 需时 100 年)。即起始时间 1555-1445 cal BP, 顶、底板-1.4~-2.4m
VIII								
1	ZK-507-I	48	塘沽区北塘, <i>C. gigas</i>	975±85	1334±94	1068(1170-954)	[31, 37]	取样处高程按-1m 计 ^[37] , 设为该处礁体顶板高度, 则底板为-1.4m。以校正年龄 1 倍标准偏差范围作为礁体的起始时间; 1170-950 cal BP, 顶板高-1m
1	—	—	大神堂海区, 现代牡蛎礁, <i>C. gigas</i>	—	—	—	(8)	若无人类破坏, 其顶板可至海平面位置, 厚度按 3m 计
IX								

注:第 6 列中斜体字的年龄是近似测用年龄。大吴庄礁体剖面 6 的 30 个牡蛎个体 AMS ¹⁴C 数据,已由范昌福在文献(5)中作了初步解释,本表暂未列入

确定礁顶垂直方向的起伏程度,即礁顶作为标志点其自身的垂直误差;二是确定与海面的关系。

对埋藏礁体顶部形态的水准测量显示,礁顶高程变化范围分别是大吴庄 $-2.01\sim-3.18\text{m}$ (礁顶 5 个测量点的高差范围,未发表数据)、滨海湖 $-2.96\sim-4.36\text{m}^{(7)}$ (9 点范围)、空港礁体 $-3.16\sim-2.70\text{m}^{(9)}$ (3 点范围)。上述 3 处礁顶的起伏在 $0.4\sim1.4\text{m}$ 之间,最大幅度 1.4m 。本文据此假定在垂直方向上,礁顶有 $\pm 0.7\text{m}$ 的自身误差。可资参考的是江苏小庙洪的牡蛎礁,其顶部的起伏可达 $0.5\sim1.0\text{m}^{[25]}$ 。

渤海湾西北岸的 *Cressostrea gigas* 礁体可向上生长至海平面高度,先锋个体甚至可生长于平均大潮高潮线处,这一认知是根据全球大量实例和笔者研究小组的实际观察获得的^[1]。因此,本文以礁顶所在的高度,再增加 $\pm 0.7\text{m}$ 的误差范围,近似反映当时的海平面位置。

这一假定,还可从礁顶上覆潮间带泥层的厚度得到佐证。研究区的牡蛎礁,常被位于潮间带深度的、含有大量不规则粉细砂质纹层的泥质沉积物覆盖。此种具有潮汐层理的不规则纹层的上限,即最后一个纹层(the last irregular sandy/silty lamina, LISL),被认为是(稍晚于礁顶形成时的)平均高潮位^[10,26]。目前经实测的 LISL 与礁顶间高差(即礁顶之上潮间带泥质沉积物的厚度)计有:俵口礁体 $1.2\sim2\text{m}$ 、北淮淀 $1.1\sim2.2\text{m}$ 、岭头约 1m 、大吴庄 $1.4\sim2.4\text{m}^{[5](10)}$ 、滨海湖约 $2.1\text{m}^{(7)}$ 、空港相距 300 余米的 2 处礁体分别是 1.3m 和大于 $1\text{m}^{(9)}$ 。上述各点的礁顶上覆潮间带泥层的平均厚度约 1.6m 。若以渤海湾湾顶处现代平均大潮差 3.08m 代替全新世古潮差^[27],则海平面与平均高潮位之间的垂直距离约 1.5m 。覆于礁顶之上、平均厚度 1.6m 的潮间带泥层,恰好填补了位于海平面的礁顶与平均高潮位之间约 1.5m 的调适空间(accommodation)。当然, 1.5m 厚的泥层堆积需要一定的时间,因此 LISL 所代表的 MHW (Mean High Water, 平均高潮位)要比礁顶代表的 MSL 稍晚。鉴于研究精度尚不足以确定礁顶与 LISL 之间的历时(及该段时间内海面可能的波动),本文只能忽略这一 MHW 稍滞后于 MSL 的问题。

据上所述,在将礁顶作为海面变化标志点时,本文作如下规定(表 1)。

(1)经实测的顶板起伏范围不足 1.4m 时,以实测的顶板高差平均值为中点,增加 $\pm 0.7\text{m}$ 的垂直误差。滨海湖礁顶 9 点平均高度 -3.66m ,起伏幅度 1.4m ,假定当时的海平面高度是 $-3.66\pm 0.7\text{m}$ 。但是,空港礁顶起伏仅 0.46m ,因此需从其平均高度 -2.98m 增加 $\pm 0.7\text{m}$ 的误差,推断当时的海平面位置的垂直误差范围是 $-2.98\pm 0.7\text{m}$ 。

(2)前人若仅提供单一的顶板高程数值,则只能粗略地以该值为中点,增加 $\pm 0.7\text{m}$ 的垂直误差,以此范围近似地代表当时海平面的垂直范围。

4 讨 论

经 ^{14}C 测年获得礁体总历时后,减去依北淮淀礁体 BH1 壳体 1cm/a 生长速率推算的正常建礁层历时,剩下的时间即平均分配给礁体中的各个水平夹层。由这一简单方法获得的水平夹层历时的经验值是 $200\text{a}/1\text{层}^{[5](2)}$ 。但是,近来大吴庄礁体剖面 6 的 AMS 测年给出的总历时有可能仅是数年前剖面 1 液闪法测年总历时的一半(表 1)。因此,在正常建礁速率和水平夹层数量不变时,必然是总历时愈短,水平夹层需时亦愈短。在尚无更多 ^{14}C 数据对 $200\text{a}/1\text{层}$ 的水平夹层历时作出更有说服力的更正时,可保留对此的怀疑。如此一来,以 $200\text{a}/1\text{层}$ 计算的礁体总历时,就存在时间过长的可能性。为尽可能消除由此引起的误差,在王宏等文章中图 1 的礁体历时的 2 个端员,均以虚线表示其可能存在的确定性。

5 结 论

以牡蛎礁研究综述^[5]和自那时以来研究小组新的积累^{[16-24](4-9)}为基础,本文再次考证了 65 个数据的沉积学意义和时代意义,并进一步厘定了渤海湾西北岸牡蛎礁平原牡蛎礁的形成时间和礁体顶板、底板的高度。在原有的 9 个礁群的基础上,增加了目前发现的最老的(早全新世晚期)、位于浅海区的 CH79 孔礁群(编号:Pre-I-1)。在沿海低地新发现

①剖面 6 的顶部有 2 个 AMS ^{14}C 年龄,从礁顶向下依次是 6140cal BP (礁顶之下 $0\sim20\text{cm}$)、 5820cal BP (礁顶之下 $23\sim40\text{cm}$)。笔者结合剖面 1 的顶部年龄 5650cal BP 、上覆泥层最底部半炭化树枝的年龄 5520cal BP 和 OSL 年龄——剖面 4 礁体上覆泥层底部 OSL 年龄 $5.0\text{ka BP}^{[23]}$ 、剖面 9 泥层开始底部 OSL 年龄 $5\sim4\text{ka BP}$,平均值是 $4.7\text{ka BP}^{(6)}$ ——的佐证,认为可能结束于 5820cal BP 。但是,正是这一年龄上的混乱,礁体结束时间的另一推测是 $6140\text{cal BP}^{(5)}$ 。关于大吴庄礁体结束时间的不同认识,参见本期王宏等的文章

的滨海湖、空港礁群暂作为北淮淀礁群(V)的亚礁群(V-1)。根据大吴庄礁体2个相距仅20m的剖面1和6的近50个 ^{14}C 数据,重新讨论了该礁体的起讫时间。配合OSL数据和礁顶之上半炭化树枝的年龄,推断该处礁体结束于5.8~5.6ka cal BP^①(注:对①的注释在前页注脚处),进一步的校核研究有待于放射性碳测年的第3批结果(正在对剖面1重新进行AMS测量)。

通过水准测量,确定了礁顶起伏的最大幅度为1.4m($\pm 0.7\text{m}$),并以此经验值统一校正了所有礁顶的起伏幅度。在以往礁顶对应海平面的认识的基础上,进而将“礁顶波动 $\pm 0.7\text{m}$ ”作为礁顶海面标志点的自身垂直误差范围,对应当时的海平面。礁顶上覆潮间带泥层约1.5m的平均厚度支持这一推断。

致谢:研究小组其他成员参与了该项研究,匿名审稿者提出了宝贵的修改意见,谨致谢意。

参考文献

- [1]王一曼.渤海湾西北岸全新世海侵问题的初步探讨[J].地理研究,1982,1(2):59-69.
- [2]翟乾祥.长牡蛎层和渤海湾全新世最高海平面[M]//国际地质对比计划第200号项目中国工作组.中国海平面变化.北京:海洋出版社,1986:221-225.
- [3]王强,李秀文,张志良,等.天津地区全新世牡蛎滩的古海洋学意义[J].海洋学报,1991,13(3):371-380(附图版2幅).
- [4]韩有松,孟广兰.渤海湾沿岸[M]//赵希涛,陈宗镛,朱季文.中国海面变化.山东:山东科学技术出版社,1996:52-70.
- [5]王宏,范昌福,李建芬,等.渤海湾西北岸全新世牡蛎礁研究概述[J].地质通报,2006,25(3):315-331.
- [6]Wang H, Keppens E, Nielsen P, et al. Oxygen and carbon isotope study of the Holocene oyster reefs and paleoenvironmental reconstruction on the North West Coast of Bohai Bay, China[J]. Marine Geology, 1995, 124: 289-302.
- [7]Wang H, van Strydonck M. Chronology of Holocene cheniers and oyster reefs on the coast of Bohai Bay, China[J]. Quaternary Research, 1997, 47: 192-205.
- [8]王宏.渤海湾全新世贝壳堤和牡蛎礁的古环境[J].第四纪研究,1996,1:71-79.
- [9]王宏.渤海湾牡蛎礁与新构造活动:几个基本问题的讨论[M]//卢演传,高维明,陈国星,等.新构造与环境.北京:地震出版社,2001:171-184.
- [10]王宏.渤海湾泥质海岸带近现代地质环境变化研究(I):意义、目标与方法[J].第四纪研究,2003,23(4):385-392.
- [11]王宏.渤海湾泥质海岸带近现代地质环境变化研究(II):成果与讨论[J].第四纪研究,2003,23(4):393-403.
- [12]王宏,李凤林,范昌福,等.环渤海海岸带 ^{14}C 数据集(I)[J].第四纪研究,2004,24(6):601-613.
- [13]王宏,范昌福.环渤海海岸带 ^{14}C 数据集(II)[J].第四纪研究,2005,25(2):141-156.
- [14]范昌福,王宏,李建芬,等.渤海湾西北岸牡蛎礁体对区域性构造活动与水动力海面变化的响应[J].第四纪研究,2005,25(2):235-244.
- [15]范昌福,李建芬,王宏,等.渤海湾西北岸大吴庄牡蛎礁 ^{14}C 测年与缓变型地质环境变化[J].地质调查与研究,2005,28(2):124-129.
- [16]范昌福,裴艳东,王宏,等.渤海湾西北岸埋藏牡蛎礁体中的壳体形态与沉积环境[J].第四纪研究,2007,27(5):806-813.
- [17]范昌福,王宏,裴艳东,等.渤海湾西北岸滨海湖埋藏牡蛎礁古生态环境[J].海洋地质与第四纪地质,2008,28(1):33-41.
- [18]范昌福,王宏,裴艳东,等.牡蛎壳体的同位素贝壳年轮研究[J].地球科学进展,2010,25(2):163-173.
- [19]范昌福,裴艳东,田立柱,等.渤海湾北部浅海区活牡蛎礁调查结果及资源保护建议[J].地质通报,2010,29(5):660-667.
- [20]范昌福,王宏,裴艳东,等.稳定同位素贝壳年轮指示的牡蛎礁体水平夹层成因[J].第四纪研究,2010,30(5):994-1002.
- [21]商志文,范昌福,李冬玲,等.硅藻组合指示的渤海湾西北岸两个牡蛎礁体生长环境的差异[J].海洋地质与第四纪地质,2010,30(5):33-39.
- [22]Zhang J F, Fan C F, Wang H, et al. Optical dating of sediments from a fossil oyster reef in the coast of Bohai Bay, China[J]. Quaternary International, 2007, 2:71-76.
- [23]李冬玲,范昌福,黄玥,等.渤海湾西北岸中全新世埋藏牡蛎礁的硅藻记录及古环境意义[J].海洋通报,2009,28(3):22-28.
- [24]Fan C F, Königer P, Wang H, et al. Ligament increments of Pacific oyster are reliable independent proxies for seasonality in the western Bohai Sea, China[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2011, 299: 437-448.
- [25]张忍顺.江苏小庙洪牡蛎礁的地貌-沉积特征[J].海洋与湖沼,2004,35(1):1-7.
- [26]王云生,王宏,张玉发,等.泥质海岸带浅表地层沉积序列区域地质调查方法[J].地质通报,2002,21(12):898-903.
- [27]刘爱菊,张延廷,黄易畅.河北省海岸带潮汐特征[J].黄渤海海洋,1986,4(3):1-7.
- [28]李元芳,高善明,安凤桐.天津北部全新世海进[J].地理集刊,1986,18:88-98.
- [29]仇士华,蔡莲珍,冼自强,等. ^{14}C 年代测定报告(ZK)II[C]//第四纪冰川与第四纪地质论文集编委会.第四纪冰川与第四纪地质论文集(第六集:碳十四专集).北京:地质出版社,1990:103-113.
- [30]文物保护科学技术研究所 ^{14}C 实验室. ^{14}C 年代测定报告(WB)I[C]//第四纪冰川与第四纪地质论文集编委会.第四纪冰川与第四纪地质论文集(第四集:碳十四专集).北京:地质出版社,1987:13-15.
- [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[C].北京:文物出版社,1983:1-321.
- [32]彭贵,张景文,焦文强,等.渤海湾沿岸晚第四纪地层 C^{14} 年代学研究[J].地震地质,1980,2(2):71-78.
- [33]彭贵,张景文,陈以健,等.渤海沿岸泥炭、贝壳样品 ^{14}C 年代测

- 定与第四纪晚期渤海海侵[C]//第一次全国 ^{14}C 学术会议文集编辑小组. 第一次全国 ^{14}C 学术会议文集. 北京: 科学出版社, 1984: 144–149.
- [34]中国科学院贵阳地球化学研究所 C^{14} 实验室. C^{14} 年龄测定方法及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1977: 132–135.
- [35]李秀文, 赵福利. ^{14}C 年代测定报告 (TD) I [C]//第四纪冰川与第四纪地质论文集编委会. 第四纪冰川与第四纪地质论文集(第六集: 碳十四专集). 北京: 地质出版社, 1990: 86–102.
- [36]仇士华, 蔡莲珍, 冼自强, 等. ^{14}C 测定年代报告 (ZK) I [C]//第四纪冰川与第四纪地质论文集编委会. 第四纪冰川与第四纪地质论文集(第四集: 碳十四专集). 北京: 地质出版社, 1987: 2–12.
- [37]赵希涛. 渤海湾西岸全新世海岸线变迁[M]//中国科学院地质研究所, 国家地震局地质研究所. 华北断块区的形成与发展. 北京: 科学出版社, 1980: 302–309.
- (1)翟乾祥. 天津“沧海桑田”的物证——长牡蛎(*Ostrea gigas* Thunberg). 天津历史博物馆, 1978: 1–4.
- (2)Wang H. Palaeoenvironment of Holocene Chenier and Oyster Reefs in the Bohai Bay (China). PhD Dissertation, Vrije Universiteit Brussel, 1994: 1–249.
- (3)范昌福. 渤海湾西北岸大吴庄牡蛎礁中全新世古环境. 吉林大学硕士学位论文, 2005: 1–59.
- (4)范昌福. 渤海西岸全新世埋藏牡蛎礁古环境. 南京大学博士学位论文, 2008: 1–90.
- (5)范昌福. 渤海西岸中全新世埋藏牡蛎礁古环境记录. 中国地质科学院博士后出站报告, 2010: 1–96.
- (6)刘会敏. 渤海湾西北岸大吴庄牡蛎礁泥转换与地质环境变迁. 吉林大学硕士学位论文, 2010: 1–51.
- (7)范昌福, 裴艳东, 王福, 等. 天津滨海湖埋藏牡蛎礁体地质勘察报告. 2006: 1–11.
- (8)范昌福, 裴艳东, 田立柱, 等. 天津汉沽大神堂海区现代活牡蛎礁调查报告. 2009: 1–74(附该礁体其它常见软体动物彩色图版 5 帧).
- (9)王海峰, 范昌福, 王宏, 等. 空港牡蛎礁研究报告. 硕士研究生 2010 年阶段报告. 2010: 1–18.
- (10)王宏, 张金起, 张玉发, 等. 渤海湾牡蛎平原牡蛎礁的形成与演化. 淮淀乡幅(J50E005015, 1:50000)区域地质调查专题研究报告, 2002: 1–57.
- (11)李秀文, 赵福利. ^{14}C 测定实验过程简述及地质年代数据表(I). 1988.
- (12)李秀文, 赵福利. ^{14}C 测定实验过程简述及地质年代数据表(II). 1990.