

渤海湾牡蛎礁的研究现状与保护建议

李建芬^{1,2,3}, 商志文^{1,2,3}, 陈永胜^{1,2,3}, 田立柱^{1,2,3}, 姜兴钰^{1,2,3}, 王福^{1,2,3}, 胡云壮^{1,2,3},
李勇^{1,2,3}, 杨朋^{1,2,3}, 文明征^{1,2,3}, 袁海帆^{1,2,3}, 施佩歆^{1,2,3}, 王宏^{1,2,3*}

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 中国地质调查局海岸带地质环境重点实验室, 天津 300170; 3. 中国地质调查局华北地质科技创新中心, 天津 300170)

摘要:通过对渤海湾西北岸全新世牡蛎礁调查研究现状及成果的梳理,阐述了牡蛎礁的结构特征、时空分布和古环境要素:(1)牡蛎礁和上覆泥质沉积层具有“二元结构”特征;(2)在距今8 270年以来,沿北西-南东方向包括现代活体牡蛎礁在内共分为10~14道礁群(其中有4道可视作亚礁群);(3)“礁泥转换”和礁体内部直立的正常建礁层与水平夹层所记录的缓变型和突变型的环境变化信息;(4)确定了牡蛎礁顶板可以作为海面标志点,以礁顶的实测高度、再增加“±0.7 m”的礁顶起伏误差范围,重建当时的海平面;(5)牡蛎壳体的同位素研究揭示了牡蛎生长的年度和季节性变化规律;(6)牡蛎礁体及岭地共同记录了海岸线变迁历史。以此为基础,介绍了牡蛎礁博物馆选址和现代活牡蛎的调查结果。最后,提出了牡蛎礁的保护和利用牡蛎礁进行生态海岸修复的建议。

关键词:牡蛎礁;环境变化;海岸带;渤海湾;礁泥转换

中图分类号: P737.12; X37

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2020)04-0317-17

渤海湾沿海平原若大致以海河下游(天津市中心城区以东)为界,其北侧的一部分可称作“牡蛎礁平原”、南侧可称作“贝壳堤平原”。北侧的天津市宁河区、宝坻区、东丽区、滨海新区(原塘沽区、汉沽区部分)及河北省唐山市丰南区等面积近5 000 km²的沿海低地,迄今已发现了50余处埋藏于地下的牡蛎礁。中国地质调查局天津地质调查中心自1980年代末陆续开展了大量的渤海湾牡蛎礁调查与研究,经过三十余年来的努力,通过对礁体的沉积学、微体古生物学、年代学、稳定同位素化学及牡蛎个体及礁体的生态特征研究,在牡蛎礁的结构特征、时空分布、古环境重建等方面,积累了较为丰富的资料。本文对此做了综述并提出牡蛎礁保护及海岸修护的建议。

1 牡蛎礁的概念、分布及研究背景

1.1 牡蛎礁的概念

牡蛎科(Ostreidae)属软体动物门、双壳纲、珍珠

贝目,具有广栖性,为世界性广布种。牡蛎可在近海沿岸的复杂生境中大量繁殖,外部形态常随其生活环境的不同而发生极大的变化。因此,牡蛎中多数种类单纯依靠贝壳的外部形态是很难区分的。地理分布曾是牡蛎物种鉴定的主要依据之一,但有不少研究表明,一些曾因地理分布不同而被定为不同种的牡蛎,很容易杂交,产生可存活的并且具有繁育能力的后代。由于缺少有效的研究手段,在相当长的一段时期内,牡蛎的种名混乱,同种异名和异种同名现象十分严重^[1-2]。

渤海湾牡蛎礁平原的牡蛎,是长重牡蛎 *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793)^{[1,3-12]①②}(图1),为一种生长在咸、淡水混合的河口-海湾浅海区的水生软体双壳类,由此种贝类形成的礁体称为牡蛎礁(oyster reef)。它的基底坐落在泥质(泥砂质)沉积物或贝壳(以及其它固定的硬质基底)上,单个个体甚至可在任何“硬底”上固着生长,例如木片、块石等。在最近

收稿日期:2019-12-30

资助项目:中国地质调查局项目“津冀沿海资源环境承载能力调查(DD20189506)”;国家自然科学基金面上项目“渤海湾全新世海面标志点研究与变化历史重建(41372173)”;国家自然科学基金青年基金项目“渤海湾西北岸4ka BP前后古环境重建(41806109)”

作者简介:李建芬(1967-),女,理学博士,正高级工程师,从事海岸带地质环境演化研究,E-mail:ljianfen@cgs.cn;通讯作者:王宏(1948-),男,理学博士,研究员,从事海岸带地质环境演化研究,E-mail:whong@cgs.cn。

①关于渤海湾牡蛎的定名,仍有争论。例如农业农村部东海水产研究所的全为民研究员认为是近江牡蛎 *Crassostrea ariakensis* (C. rivularis),但包括天津市水产部门在内的研究者认为是长重牡蛎(与刘克奉等的讨论,2019)。

②商志文,姜兴钰.渤海湾西岸贝壳堤、牡蛎礁与全新世环境变迁,滨海新区博物馆“渤海讲堂”科普宣传材料(多媒体),2019。

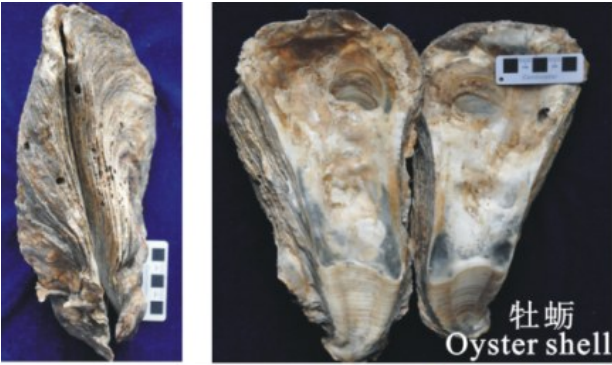


图1 渤海湾西北岸“牡蛎礁平原”一个埋藏牡蛎礁中的牡蛎个体

Fig.1 An individual oyster from one buried oyster reef in the Oyster Reef Plain on the northwest coast of the Bohai Bay

三、四年里,已在北疆电厂、南疆围海造陆区、歧口河河口及黄骅港围海造陆区的海边砌石、海堤上发现了活牡蛎^③。牡蛎幼体固着在先期成体之上并向上生长,堆积成直立状态、向上生长的牡蛎礁体。礁内死

亡个体双壳间被泥质沉积物充填,牡蛎壳体和泥砂质沉积物记录了礁体生长时的环境信息。

原生状态:直立、双壳闭合。该个体壳高约25 cm,在没有人类干扰的自然环境中可从容地生长至数十厘米、甚至近50 cm高,而现代养殖牡蛎在2~3年内长至10 cm高即可上市。

1.2 全新世牡蛎礁的分布

全新世牡蛎礁广泛分布于东亚环太平洋沿岸地区(图2~5)。泰国曼谷中央平原 Wat Hoi 地区的牡蛎礁体被发现于海拔-1 m 以下,上覆泥层反映海退环境^[13](图3)。湄公河三角洲的安江群上部泥层掩盖了牡蛎礁及沿海森林^[14]。红河三角洲平原的全新世牡蛎礁被发现于距现代岸线~80 km 的内陆平原,上覆1.5 m 厚的泥层(图3)。越南沿海地区从南向北,至少发现7处礁体及上覆泥层的“二元结构”现象。台湾西海岸原生礁体因高能波浪作用难于保存,但全新世地层中常有厚数十厘米的牡蛎层。俄

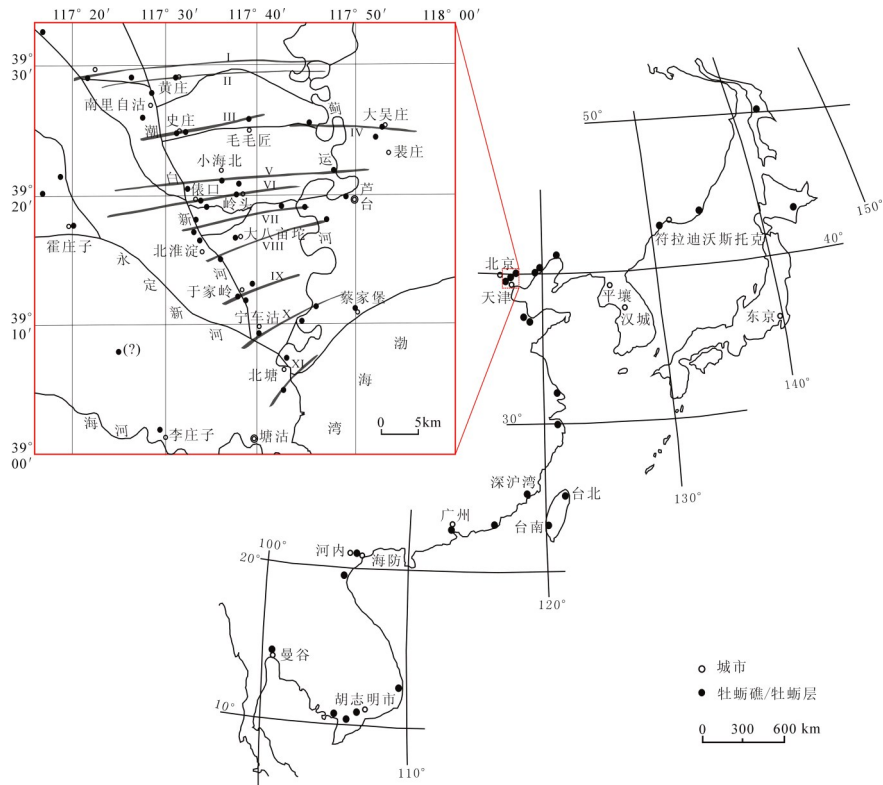


图2 太平洋西岸与渤海湾西北岸全新世牡蛎礁分布示意图(据文献[2])

Fig.2 Distribution of Holocene oyster reefs on the west coast of the Pacific Ocean and the northwest coast of Bohai Bay

^③过去数千年里,牡蛎礁曾广泛分布于海河以北的“牡蛎礁平原”,现代活牡蛎礁还分布于渤海湾西北岸大神堂近海。海河以南的“贝壳堤平原”上,在贝壳堤内和地层中也有零星牡蛎壳个体的存在,但从未有牡蛎礁的报道(仅在民访时得知黄骅市南部板堂河在1970年代疏浚河道时有发现)。但是,近三、四年来在渤海湾西岸从歧口河河口直至黄骅港北侧人工堤岸多处发现活牡蛎,期望善加保护以形成礁体。



图3 泰国和越南的古牡蛎礁(埋藏牡蛎礁)

Fig.3 Ancient (Buried) oyster reefs in Thailand and Vietnam

a和b泰国中央平原全新世牡蛎礁埋藏地点及挖掘出的牡蛎(*Crassostrea gigas*)个体堆积而成的牡蛎丘,该地庙宇即名为Wat Hoi(wat,庙,hoi,贝壳)(泰国地质调查所Sinsakul提供,1991),c.越南红河三角洲中部埋藏牡蛎礁体(越南地质调查所Nguyen Duc Tam提供,1991)。

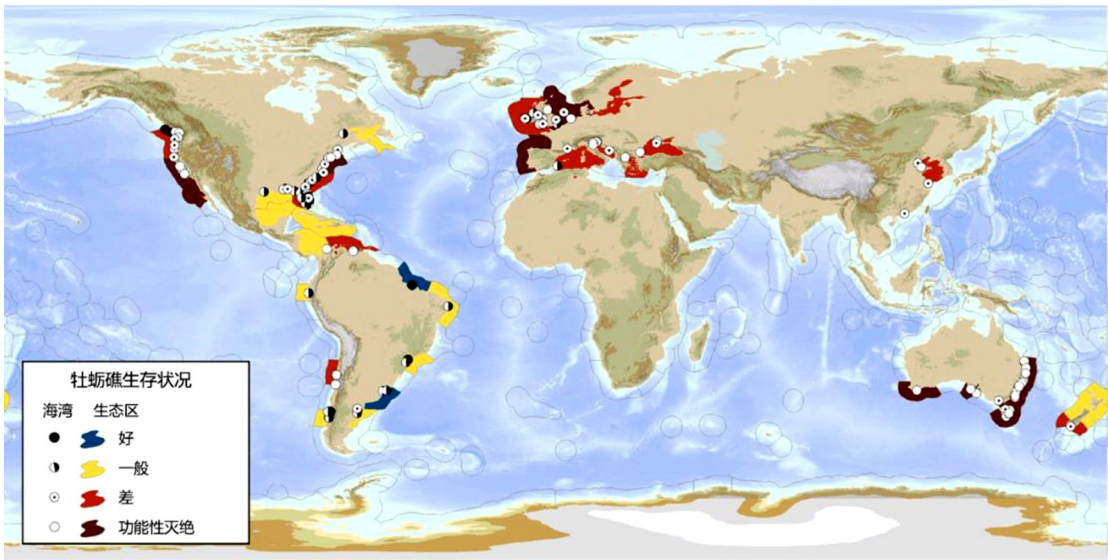


图4 全球现代活牡蛎礁分布现状(据文献[16])

Fig.4 Global distribution status of living oyster reefs (according to reference [16])

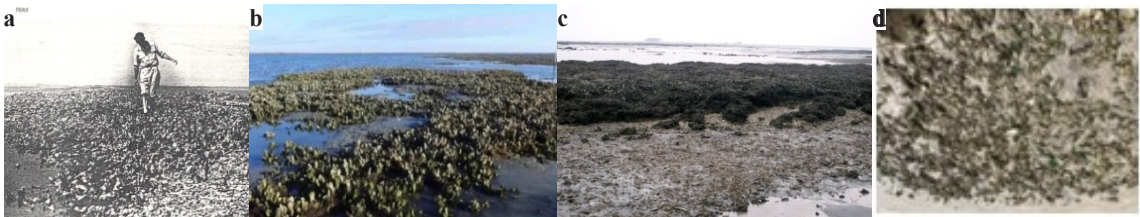


图5 现代活牡蛎礁实例

Fig.5 Examples of living oyster reefs

a. 南卡罗来纳州 Wadmalaw 岛河口处生活于潮间带的 *C. virginica* 活牡蛎礁在每日两次低潮时暴露出来(Hopkins, 1979);b. 弗吉尼亚州海岸带保护区的牡蛎礁^[16];c. 江苏省海门东灶港小庙洪现代活牡蛎礁,低潮时出露(范昌福、王福摄于2006);d. 河北省曹妃甸沂河口,海岸线以外1~2 km、水深2 m以下的牡蛎礁,厚10余厘米,个体最大20 cm、一般12~15 cm(农业农村部东海海洋研究所全为民、许敏提供,2019)。经过2019年初的掠夺性捕采,这一新发现的礁体已经受到很大破坏。

罗斯远东从符拉迪沃斯托克到萨哈林岛,也有现生牡蛎及全新世牡蛎礁的发现^[15]。

1.3 牡蛎礁在国内的分布及研究背景

在中国大陆牡蛎礁分布于南海、东海及黄海沿岸^[17,18]、莱州湾^[19]和渤海湾。中国大陆的牡蛎礁研究,

主要集中在以下几个地点:

(1)福建深沪湾末次冰期牡蛎礁。深沪湾潮间带存在牡蛎礁和沉溺古树林两种沉积体。徐起浩等强调新构造(古地震)活动、并对古地震作了量化分析^[20,21],而王绍鸿等^[22]则认为冰期-间冰期转换引起

的海面升降是制约当地环境变化的主要因素。俞鸣同、黄向华^[23]等综合了上述两种观点,认为冰期时降低的海面使礁体所在层位成为陆地,新构造抬升又使古河道沉积物生长油杉林,二者同时在中全新世时被高海面淹没。该处礁体的¹⁴C直接测定值的合理范围被认为是20 000~25 000年前^[24]。

(2)江苏小庙洪现代牡蛎礁。张忍顺^[25]对江苏小庙洪生活于现代潮间带的现生牡蛎礁体及周边环境进行了形态学、生态学、地貌学和水文学研究。礁体顶部起伏,最高处接近海平面高度。对于礁体中的水平层成因,认为并非仅有外部强力冲蚀(例如风暴潮)一种,还可能是在低潮时礁体顶部低凹部位的积水沿小水道外泻而形成的再搬运牡蛎和泥沙冲刷层^④。

(3)山东小清河现代牡蛎礁。耿秀山等^[26]测量了小清河、淄脉沟河口牡蛎礁分布位置、礁顶的起伏形态及礁顶在海平面以下的深度。认为1955~1980年间的三次分米级的海面下降引起牡蛎礁体向海方向的水平迁移。

(4)渤海湾西北岸全新世牡蛎礁研究始于20世纪初期,Licent和de Chardin报道了海河下游北岸的Yenzhuang^⑤地下20~25英尺(约合6.1~7.6 m)处发现的大量被埋藏的牡蛎^[27]。对渤海湾牡蛎礁的早期科学研究,缘起于1970年代冬季兴修农田水利时发现的“千层蛤”(牡蛎壳),当时引起了翟乾祥先生的关注,他首次调查了渤海湾牡蛎礁的分布,并做了初步的贝类学和生态学研究,将其定名为长牡蛎*Ostrea gigas*,认为是气候温暖时受海水影响的产物,并获得了第一批¹⁴C年龄^[28,29]。此后,众多研究者开始从牡蛎定名与生态习性、礁体分布及与海面关系、年代学、古气候与古环境诸多方面开展研究^[30-34]。

2 渤海湾牡蛎礁的调查与研究现状

2.1 牡蛎礁礁群的确立及时空分布特征

渤海湾西北岸的天津市宁河区、宝坻区、滨海新区和河北省唐山市丰南区等总面积近5 000 km²的沿海平原上,迄今为止已发现了50余处埋藏牡蛎礁体,这一地区因而又被称为“牡蛎礁平原”。其中,属于天津古海岸与湿地国家级自然保护区的牡蛎礁,主

要分布在宁河区境内,其核心区、缓冲区集中于宁河区俵口乡。这些礁体埋藏于地下2~6 m处,呈斑状或带状分布,单个礁体面积数千至数万平方米,分别形成于距今约7 670~9 000年间。在渤海湾西北的近岸浅海区,还埋藏着迄今所发现的最老礁体(约8 270年前)以及现代活牡蛎,经过原天津市海洋局和水产局的努力,近年来该海区已被划为“大神堂牡蛎礁国家级海洋特别保护区”^⑥。

在过去约8 300的时间里,近5 000 km²的牡蛎礁平原的50余处礁体,按它们的时空分布范围,自西北向东南可大致划分为10~14道礁群(其中有4道可视为亚礁群)(图2、6,表1)^[12,13,35-37]。迄今发现的最老礁体,是埋藏于大神堂近海CH79孔的现代85高程-12.20 m处、距今约8 270年(8 270 cal BP)的水下埋藏牡蛎礁,定名为Pro-I礁群^[36-38],距现代海岸线最远的陆地上第I礁群(距现代海岸线约60 km,礁体死亡年龄约7 670年前),分布于天津市宝坻区黄庄-东老口一线;最年轻的埋藏礁群IX位于蓟运河河口(礁体死亡时间约1 070年前);现代活牡蛎分布于大神堂特别保护区。

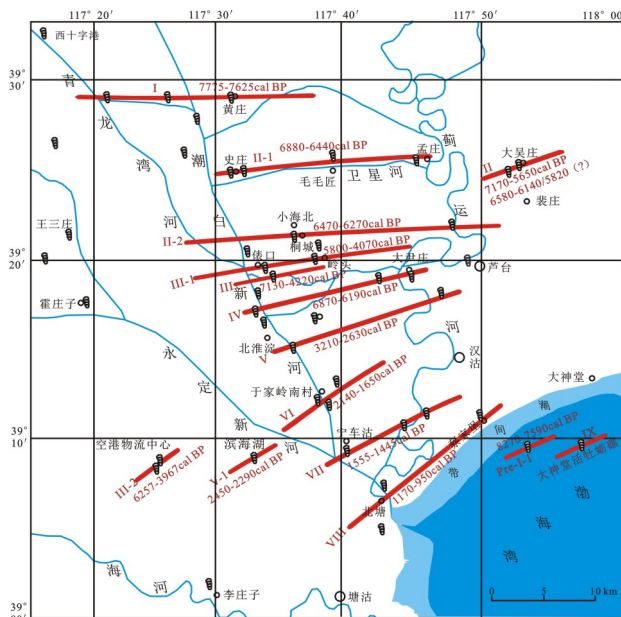


图6 渤海湾西北岸牡蛎礁平原礁群时空分布图

Fig.6 Temporal and spatial distribution map of oyster reefs in the Oyster Reef Plain on the northwest coast of the Bohai Bay

④近年来该地牡蛎礁中的牡蛎出现大量死亡现象,沉积学和贝类生态学的初步研究均认为是沉积物过快堆积所致(南京大学于谦,2020)。

⑤查顺直地形图(顺直水利委员会,1928),似应为该图上的“一人庄”,其地理位置在现今海河北无瑕街的行政范围内。

⑥2019年,在曹妃甸沂河河口浅海区发现了现代牡蛎礁,但遭到哄抢而未能保护起来。

表1 渤海湾西北岸牡蛎礁平原各牡蛎礁群的基本参数一览表^[2, 8-9, 12, 35-37]

Tab.1 Basic parameters of each oyster reef in the Oyster Reef Plain on the northwest coast of the Bohai Bay^[2, 8-9, 12, 35-37]

礁群 序号	礁群 名称	礁体顶 板高程 /m	顶板起 伏幅度 /m	礁体底 板高程 /m	礁体 总厚度 /m	正常建 礁层数 目/层	正常建 礁层累 计厚度 /m	水平夹 层数目 /层	水平夹 层累计 厚度 /m	礁体距今 (cal BP)/ 礁体 历时(yrs)	正常建 礁层历 时/ yrs	水平夹 层历时 / yrs	距现代 海岸线 / km	原始数据出处与本文的说明
Pro-I	CH79 孔	约 -11.7	-11.7 ± 0.7	约 -14.9	3.2					8 270~ 7 590 / 680			约-5	
I	东老 口-黄 庄	-1.10	-1.1 ± 0.7	约-2.6	1-1.5	1	1~1.5	0	0	7 775~ 7 625 /约 150	约 110~ 160	0	约 50	礁体厚 1 ~ 1.5 m ^[33] 。但另有研究者认为东老口礁体厚 5 m ^[34, 39] 。为谨慎起见,本报告采 1 ~ 1.5 m ^[33] 。礁体内水平夹层,未见报道,本报告暂以不存在水平夹层论。仅有 2 个可用的 ¹⁴ C 年龄:(1)7 665(7 552 ~ 7 783)cal BP (直接测定值 6 655 ± 110), (2)7 744 (7 639 ~ 7 845) cal BP (直接测定值 6 744 ± 87/ ZDL-2) ^[33, 40] 。将该 2 校正年龄值作为该礁群的起讫年龄:7 744 ~ 7 665 cal BP。在无水平夹层时, 1 ~ 1.5 m 厚度的正常建礁需时 ~ 110 ~ 60 年(=初始阶段~10 年+向上建造 ~ 100 或 150 年)。另一直接测定值 3 780 ± 90/ ZK-1437, 过于年轻,舍弃。 ¹⁴ C 计年与“礁体历时假说”有 30 ~ 80 年的差别
II	大吴 庄剖 面 1	约- 3.22	-3.22 ± 0.7	约 -7.52	6	6	4.5	5	1.5	7 170 ~ 5 652/ 1 520	约 510	约 1 000	约 40	15 个大吴庄礁体年龄 ^[41, 42] 表明:礁顶 5 652 cal BP, 礁底 7 265 和 7 076 cal BP(取平均值 7 170 cal BP), 礁体的 ¹⁴ C 计年距今~7 170 ~ 5 652 cal BP, 历时~1 520 cal yrs。正常建礁层 6 层, 总厚 4.5 m, 需时 ~ 450 年;先后经历 6 次初始阶段,共 ~ 60 年,二者共计 510 年。5 层水平夹层累计 ~ 1 000 年
	剖面 6	-2.58	-2.58 ± 0.7							6 580 ~ 6 140 (5 820?) /440~760 (?)				
II-1	史庄- 姜庄- 毛毛 匠	约-2	-2 ± 0.7	约-4	2	2	1.75	1	0.25	6 877~ 6 439/ 约 440	约 200	~200	约 40	史庄-姜庄-毛毛匠的 8 个年龄 ^[43, 34, 41] , 距今 7 397 ~ 5 950 cal BP, 历时 1 450 年。根据距今年龄和历时,史-姜-毛与大吴庄应是同一道礁群。但是,史-姜-毛礁体厚度仅 2 m, 从其远小于大吴庄礁体规模这一点分析,与后者历时相当是不大可能的,即 8 个数据中恐有测不准现象。本报告舍弃偏老、偏年轻的 4 个年龄后,剩余 4 个 ¹⁴ C 年龄估算的礁体持续时间是 6 877 ~ 6 439 cal BP ^[40] 。总厚 2 m 的礁体,设内夹 1 层水平层(其厚度按平均厚度 25 cm 计), ~200 年;正常建礁层,需时 ~200 年(=2 次初始阶段~20 年+1.75 m 厚正常建礁~175 年)。本文试将史-姜-毛作为礁群 II 的一部分,仅在其中的一个时间段 (~6 877~6 439 cal BP)发育,因此编为 II-1
II-2	大海 北-小 海北- 桐城	约 0	0 ± 0.7	约-2	1.5 ~ 2	1	1	0	0	6 470 ~ 6 270/ 约 200	约 150 ~ 200	0	约 32	2005 年 7 月调查该礁群桐城礁体厚 1.5 ~ 2 m, 取不存在水平夹层的谨慎想法。仅有 1 个 ¹⁴ C 年龄:6 374 (6 086 ~ 6 664) cal BP [直接测定值 5 410 ± 250] ^[40] 。该数据因 1 倍标准偏差过大(± 250 年),致使校正年龄范围~580 年(=6 086 ~ 6 664),明显过于宽泛。参照礁体厚度,本文试以校正年龄的中值概率值 6 374 为中点,向两侧各外推 100 年约,作为该礁群的近似历时。作为礁群 II 的一部分,仅在其中的一个时间段 (~6 470 ~ 6 270 cal BP)发育,因此编为 II-2
III	罾口 河	约-3.1	-3.1 ± 0.7	约 -7.4~ -9.4						7 130 ~ 4 213 / 2 918			约 28	

续表 1

礁群 序号	礁群 名称	礁体顶 板高程 / m	顶板起 伏幅度 / m	礁体底 板高程 / m	礁体 总厚度 / m	正常建 礁层数 目/ 层	正常建 礁层累 计厚度/ m	水平夹 层数目 / 层	水平夹 层累计 厚度 / m	礁体距今 年龄(cal BP)/ 礁体 历时/ yrs	正常建 礁层历 时/ yrs	水平夹 层历时 / yrs	距现代 海岸线 / km	原始数据出处与本文的说明
III-1	俵口- 岭头	-1.82 (-2.23)	-0.82 ± 0.7	约-7.6 (-3.3)	5.8	7	4.6	6	1.2	5 800~ 4 067/ 1 730	约 530	约 1 200	约 30	礁体顶部伴生的 <i>Trapezium liratum</i> 壳的 AMS 年龄 4 067 cal BP ^[41] , 7 层正常建礁层累计需时~530 年(=7 次初始阶段 70 年+4.6 m 厚正常建礁层 460 年), 6 层水平夹层约需 1 200 年(=200 年/层×6 层), 因此, 礁体底部的年龄推断为~5 800 cal BP, 礁体历时~1 730 年
III-2	空港	-2.91	-2.91 ± 0.7	-5.23						6 257~ 3 967 / 2 290			28	
IV	七里 海	约-2.3	-2.3 ± 0.7	约-6.3	3	3	2.5	2	0.5	4 010~ 3 708/ 约 300	约 280	约 400	约 24	笔者在潮白新河河床发现被掘出的牡蛎, 但未揭露其厚度, 转引王强等 ^[34] 的增口河与官地礁体厚度。依 3 874 (3 708~4 010) cal BP [直接测定值 3 360 ± 90/ TD401] ^[34,40] 。设水平夹层 2 层, 总厚 0.5 m; 余为 2.5 m 厚的 3 层正常建礁层, 正常建礁累计需时~280 年(3 次初始阶段历时~30 年+2.5 m 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, 远大于仅靠 1 个数据推算的礁体历时 300 年
V	北淮 淀	-2.44	-2.44 ± 0.7	约-4.4	2	2	1.5	2	0.5	3 210~ -2 633/ 约 580	约 180	约 400	约 21	笔者的 Eijkelkamp 槽型取样钻多点钻探揭露礁体厚 1.2 m ^[3] ; 但其他研究者观察厚~2 m ^[34] ; 据访问当地水利部门, 厚 4 m。此处按 2 m 计。礁顶年龄据同一个体 BH1 的 2 个生长层加速器年龄 2 582 和 2 654 cal BP 的平均值 2 633 cal BP, 前人的底部年龄 3 876 cal BP [直接测定值 3 360 ± 110/ TD8] ^[40] 。近顶部处发现 1 层水平夹层, 推测中下部另有 1 层, 总厚 0.5 m。正常建礁层 3 层, 总厚~1.5 m, 历时~180 年(=3 次初始阶段~30 年+1.5 m 厚正常建礁~150 年)。根据对水平夹层时间的推断(~200 年/层), 该礁体内 2 个水平夹层历时当在~400 年。但 2 者相加, 仍远小于现有 ¹⁴ C 判定的 1 240 年的持续时间(3 876~2 633), 试将差值归入可能的 ¹⁴ C 测年本身的误差, 即底部年龄 3 876 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 2 633 cal BP, 推测底部年龄应为~3 210 cal BP(2 633+580)
V-1	滨海 湖	-3.31	-3.31 ± 0.7	约 -5.3						2 450~2 290 / 160			约 23	
VI	于家 岭	约-1.8	-1.8 ± 0.7	约 -3.3	1.5	1	1.25	1	0.25	2 140~ 1 654/ 约 490	约 135	约 200	约 15	在潮白新河河床斜坡高、低不同的 2 处出露, 但未能揭露至礁体底板, 推断厚 1.5 m (与李凤林的讨论, 2005), 水平夹层 1 层, 厚~0.25 m。将 2001(1 654~2 140) cal BP [直接测定值 1 830 ± 100/ TD356] ^[34,40] 的 1 倍标准偏差范围~490 年作为礁体历时。1.25 m 厚正常建礁层需历时~135 年(初始阶段~10 年+正常建礁~125 年), 水平夹层历时~200 年。 ¹⁴ C 测年给出的礁体历时仍明显大于正常建礁与水平夹层的合计历时
VII	营城	约-1	-1 ± 0.7	约-2	1	1	1	0	0	1 555~ 1 445/ 约 110	约 110	0	约 7	在 Eijkelkamp 全取心钻孔中发现, 厚度无法判定, 推断 1 m, 水平夹层暂以不存在论。介于于家岭与北塘礁群之间, 设其存在时间是~1 500 cal BP 前后, 并按礁体推测厚度给定礁体持续时间~110 年(=初始阶段~10 年+厚度 1 m 需时~100 年)

续表1

礁群 序号	礁群 名称	礁体顶 板高程 /m	顶板起 伏幅度 /m	礁体底 板高程 /m	礁体 总厚度 /m	正常建 礁层数 目/层	正常建 礁层累 计厚度/ m	水平夹 层数目 /层	水平夹 层累计 厚度/ m	礁体距今 年龄(cal BP)/ 礁体 历时/ yrs	正常建 礁层历 时/ yrs	水平夹 层历时 / yrs	距现代 海岸线 / km	原始数据出处与本文的说明
VIII	北塘	约-1	-1 ± 0.7	约-1.4	0.4	1	0.4	0	0	1 170~ 954/ 约220	约50	0	约1	依1 068 (954~1 170) cal BP [直接测定值 975 ± 85/ZK-507-I] ^[31, 40] , 以其 ¹⁴ C校正年龄1 倍标准偏差范围~220年近似地作为礁体的 历时, 而厚0.4 m的礁体正常建礁需~50年 (=初始阶段~10年+建礁~40年), 二者差别 明显
IX	大神 堂	约0	0 ± 0.7	约±3						现代/ 已存活数 百年(?)			约-7	
	累计				23.7~ 24.2	25	19.5~20	17	4.2	7 744 ~ 954/ ~5 670	2 255 ~ 2 355	3 400		礁体内水平夹层按实测厚度, 如无实测厚 度, 则按从俄口、大吴庄等礁体获得的平均 厚度0.25 m计。正常建礁层总计25层、总 厚19.5~20 m; 水平夹层总计17层、总厚 4.2 m。二者累计厚23.7~24.2 m。考虑到某 些正常建礁层和水平夹层在相邻礁群中有 同时形成的可能(图6), 经缩减后总厚21 m 的正常建礁层总历时2 100年、17层水平夹 层总历时3 200年, 均为最大值, 实际情况很 可能分别小于这两个数值

注:厚度及层数凡斜体数字者为估计值。礁体总历时=正常建礁时间+水平夹层时间。计算依据:(1)1个礁群仅有1个可用的¹⁴C年龄值时,以该¹⁴C校正年龄的1倍标准偏差范围近似地代替该礁群的持续时间,例如礁群VI和VIII;(2)仅有1个¹⁴C年龄值,但其1倍标准偏差过大,显然是测年本身有问题,故改用以¹⁴C校正年龄的中值概率(median probability)为中点,以生长速率推定的礁体持续时间重建该礁群的历时,例如礁群II-2;(3)当¹⁴C年龄数据足够多时,选取其底部、顶部的数据作为该礁群的起止时间,例如礁群III、IV、VI。但是,这可能与据礁体生物学(牡蛎壳生长速率)和生态学(正常建礁和水平夹层持续时间)推算的年龄有很大出入,例如礁群III和V,因此,按更为可靠的AMS年龄和“礁体历时假说”给予更合理的解释;(4)礁群如无¹⁴C年龄,改以据相邻礁群已知年龄内插,然后据其生物学特征(厚度、是否有水平夹层等)决定其历时;(5)每一次正常建礁均需先经历约10年的初始阶段,然后才能进入正常建造过程,后者遵循约1cm/yr的规律。yrs. years, 年。cal BP, calibrated before present, 距今年龄(即从公元1950年向前回溯)。现代海岸线西北侧(现代海岸线向陆一侧)的全新世埋藏礁体,其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,在现代海岸线以外约7 km的浅海区,其与现代岸线间的距离,则以负值表示。高程值系黄海85高程。本表是过去近30年的研究积累,礁群I和II等时间的最新研究(例如大吴庄礁体顶部结束建礁)在Li et al.^[37]已有小的改动,但并未完全反映在本表中。

2.2 牡蛎礁礁群的结构特征

每个牡蛎礁均由礁体与上覆泥层两部分组成,具有“二元结构”(图7~13),有些礁体还特别确定了一个厚达数十厘米的“礁泥转换层”^[2]。这种现象类似于“贝壳堤平原”堤与堤间低地的转换,被视为牡蛎礁平原“第一等级”的环境变化。此外,50余个礁体内部也是由环境相对平静的、个体垂直分布的正常建礁层与不利牡蛎生长的、由再搬运混杂堆积构成的水平夹层(里面的牡蛎个体水平展布)两部分组成。目前在同一个礁体内发现的这种转换最多可达6、7次之多。粗略统计,近8,000余年来,已发现这样的交替近20次,此为“第二等级”的环境变化。

自I道礁群开始的约7 840年前至VIII道礁群被覆盖的约950年前(VIII道死亡时期约1068年前,若考虑其被上覆泥层覆盖的随后约100年的转换期,实应为约950年前)的约6 900年里,正常建礁所代表的平静期约1 500年,“缓变型”环境恶化期约3 500年,

共计约5 000年,另有约1 900年是不存在牡蛎的泥质沉积期、或年代学数据和解释有误所致(对礁体历时认识的不断修订,参见表4的注)。

全新世牡蛎礁内的水平夹层和礁顶之上的转换层,各有约13次(层)和9次(层)之多,二者约占全新世1.17万年的三分之一(表1、图14)。这些,表明了它们在渤海湾西北岸海岸带全新世进程中的不容忽视的地位。

2.3 牡蛎礁地质环境意义的研究

上面已经初步论述了牡蛎礁平原的两个不同级别的环境转变。与贝壳堤一样,牡蛎礁也可能包含更短尺度的变化。一个礁体从最初形成到向上建造、再到最后死亡(被泥层覆盖),至少要持续数百年甚至上千年。经调查,50余处礁体无一例外地均经历了被泥层覆盖的自然过程。然而造成这种转换的原因是什么、蕴含着怎样的气候信息?要回答这些问题,首先需要查明这种转换的细节。



图7 河北省唐山市丰南区大吴庄牡蛎礁(礁群II)

Fig.7 Dawuzhuang oyster reef (reef group II) in Fengnan district of Tangshan city, Hebei province

上图为大吴庄牡蛎礁远景。(下左1、2)礁体内显示出垂直建礁层与水平夹层的反复交替。(下左3、4)牡蛎礁平原的二元相结构:礁体及上部厚层泥质沉积物。礁体以上的泥层是从潮间带上部逐渐转为泻湖-盐沼环境。潮间带环境具特有的粉细砂质纹层与粉砂粘土质纹层的不规则水平互层特征。进入泻湖-盐沼环境后则显示“蒜瓣状”结构(the Garlic-structured),内含原生直立状双壳闭合的半咸水薄壳绿螂 *Glaucomya primeana*。2016年前后停止开挖,现已被水淹没。

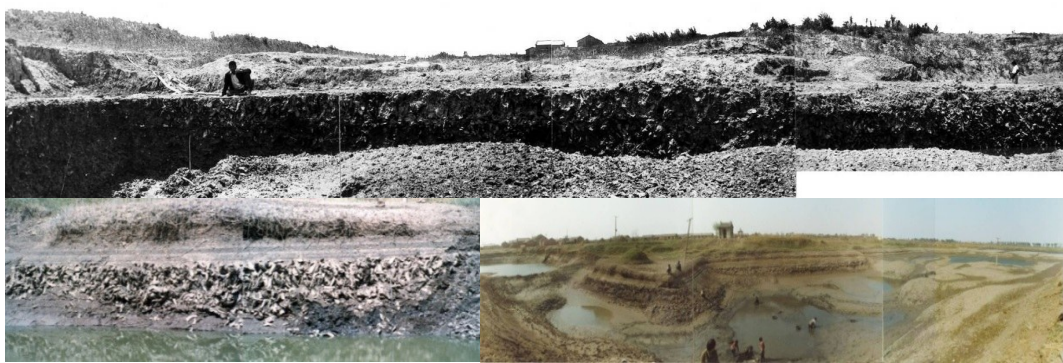


图8 天津市宁河区俵口牡蛎礁(礁群III),俵口村东南角原俵口小学附近

Fig.8 Biaokou oyster reef (reef group III), near Biaokou primary school in the southeast of Biaokou village, Ninghe district, Tianjin

(上)1984年早期开挖情景。(下)1997年夏秋,清楚地显示礁体与上覆泥层的“二元结构”特征,此时已纳入保护区核心区而禁止开采,现已被水淹没。



图9 天津宁河区罾口河牡蛎礁(礁群III)

Fig.9 Zengkouhe oyster reef (reef group III), Ninghe district, Tianjin
与俵口礁体同属礁群III。摄于2005年,现已被罾口河水淹没。



图 10 河北省芦台农场岭头牡蛎礁(礁群III)
Fig.10 Lingtou oyster reef (reef group III), Lutai Farm, Hebei province
摄于2005年,现已停止开采,被水淹没。



图 11 天津市东丽区空港牡蛎礁(礁群III-2)
Fig.11 Konggang oyster reef (reef group III-2), Dongli district, Tianjin
(左) 基坑内人的头部恰好在礁体与上覆泥层的分界线处。(中和右) 礁体与上覆泥层,右为“礁-泥转换层”(上覆泥层最底部)细部。摄于2010年,现已被建筑物覆盖。



图 12 天津宁河区北淮淀礁体(礁群V)
Fig.12 Beihuaidian oyster reef (reef group V), Ninghe district, Tianjin
(上)潮白新河右岸河床,1970年代开挖运河时揭露,摄于1991年;(下)礁体近景,摄于1989年。现已因河床坍塌、修建宁津高速而被破坏掩埋。



图 13 天津滨海新区滨海湖(黄港水库)牡蛎礁(礁群V-1)
Fig.13 Binhaihu oyster reef (reef group V-1), Binhaixinqu district, Tianjin
(左)2007年冬季水库扩容时的干涸库底,库底以下约0.5 m即揭露出牡蛎礁;(右)礁体细部。这里的牡蛎个体发育最好,高度可达0.5 m左右。摄于2007年,现已被淹没于库水之下。

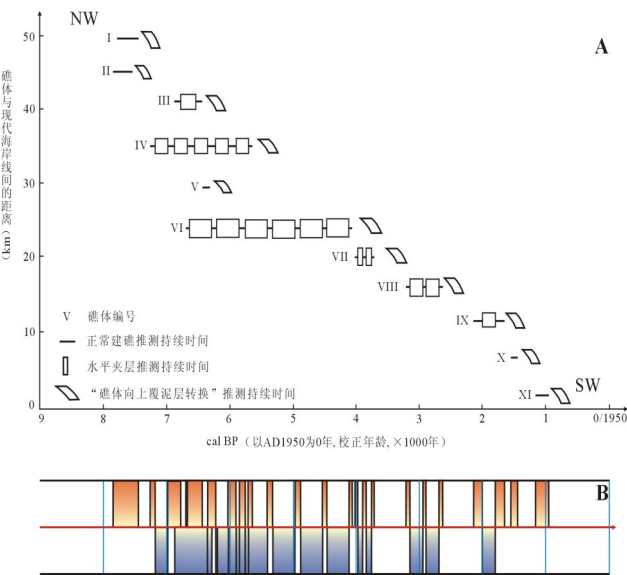


图 14 渤海湾西北岸牡蛎礁平原牡蛎礁群时空分布示意图
(据参考文献[2, 12])

Fig.14 Schematic map of temporal and spatial distribution of oyster reefs in the oyster reef plain on the northwest coast of Bohai Bay (according to reference [2, 12])

(A) 每一道礁群礁体内部正常建礁层(牡蛎个体垂直密集簇生分布)、水平夹层(以泥质为主夹有水平再搬运的少量牡蛎个体)及它们各自的历时、礁体被泥层覆盖。礁群IX是分布于大神堂近海的现代活牡蛎礁。(B) 上部浅粉色块(线)代表正常建礁层,下部浅蓝色块(线)代表水平夹层和覆盖礁体的“礁-泥转换层”。

2.3.1 牡蛎礁体与上覆泥层的转换——“第一等级”的环境变化

由 50 余个牡蛎礁体组成的十个牡蛎礁群的礁泥转换分为两大类:第一类包括礁群 I-IX,是在海水退积过程中形成的;第二类指礁群 Pro-I,是海水进积过程中形成的。两大类的环境转换是完全不同的。

第一类研究表明,礁体被泥层覆盖也存在渐变和突变两种情况(图 14~16)。一种转换方式是礁体顶部先出现封闭停滞、还原状态的小水体环境(图 15(d,e)和图 16(i))(也可能为牡蛎礁群中相对低洼的部分,由于周围高出的礁体遮挡,形成相对封闭的受涨落潮流和波浪影响较弱的环境)。礁体顶部的牡蛎个体腹缘遭受的侵蚀不明显,上覆沉积物最底部(礁-泥转换层)主要由粘土、粉砂组成,含有机质,厚约 20~30 cm,黑棕色,块状构造(不具有潮汐环境的粉细砂质透镜层理),内含零星的双壳闭合牡蛎个体。再向上,水动力逐渐增强,开始堆积开放潮坪相泥质沉积,含大量不规则的细砂-粉砂质纹层透镜体。最后才转为盐沼-河流溢流扇环境^[2],俵口、大吴庄礁体即此种情况。笔者将此称作“缓变型”转换。

另一种转换是如北淮淀礁体所显示的,那里的礁体顶部的个体腹缘多被明显侵蚀(削顶,像被用刀

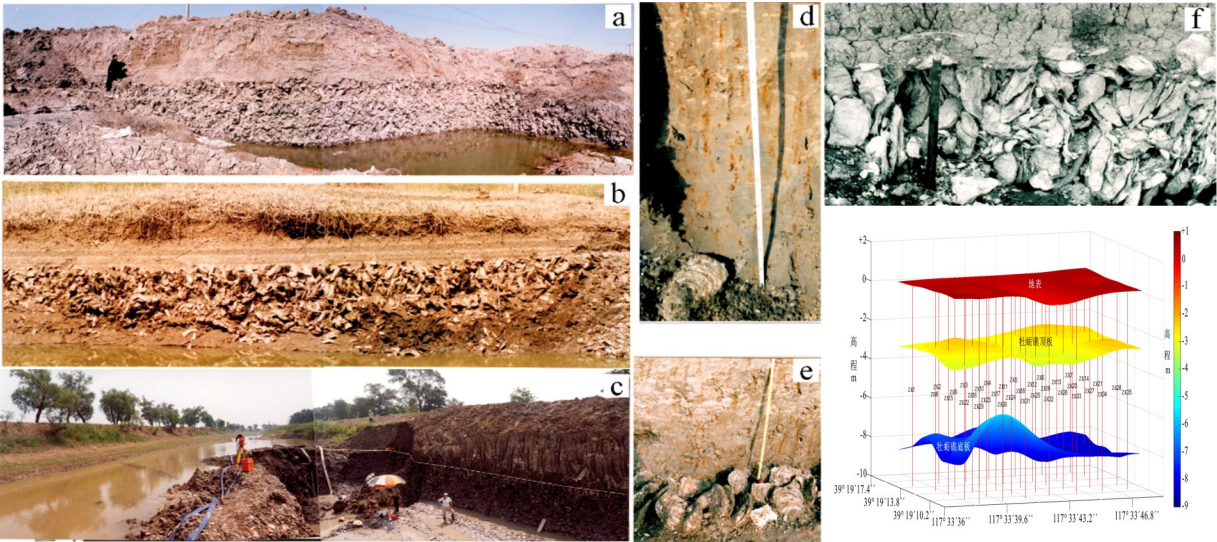


图 15 牡蛎礁平原上的三处重要的埋藏礁体

Fig.15 Three important buried oyster reefs in the oyster reef plain

a. 丰南区大吴庄;b. 宁河区俵口;c. 宁河区罾口河。d.-e. 礁体顶部被泥层“和缓地”覆盖,顶部牡蛎壳的边缘仍是浑圆状的(照片 e 钢卷尺处个体边缘被“削顶”,是人为破坏所致)(丰南区大吴庄)。f. 礁体顶部的个体被自然外力破坏,一些牡蛎个体甚至被水平搬运至礁顶之上(宁河区北淮淀)^[12, 37]。g. 俵口-罾口河之间农田(地貌学术语:泥质泻湖-盐沼低地)内巨大规模的牡蛎礁,红色是地表、黄色是埋藏牡蛎礁的顶部、蓝色是礁体底部,地表高程经 RTK 测量^[44]。

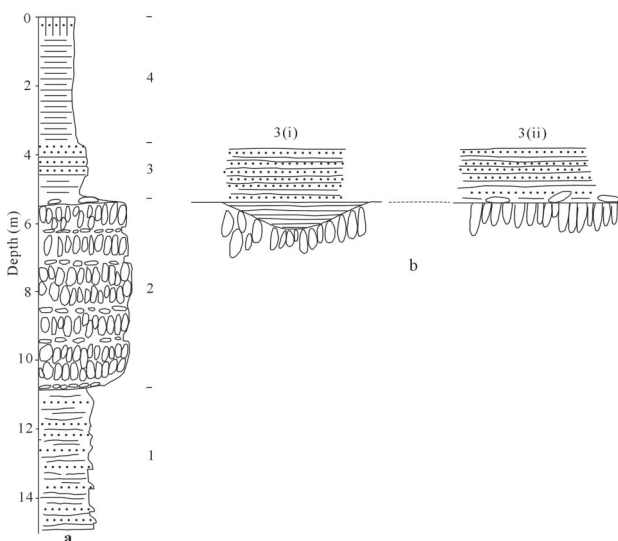


图 16 礁体向泥层的两种转换模型

Fig.16 Two models of the transition from reef to overlying mud

(i)缓慢的渐变,(ii)快速的突变(据参考文献[37])

削去一样, truncated), 甚至有较多的再搬运的、水平状的牡蛎个体覆盖在礁顶侵蚀面之上。上覆泥层发育层理, 浊黄棕色, 显然是从礁体立即转为开放氧化、动荡环境, 水流流速较快、流量较大。属于对下伏礁顶造成侵蚀的较为突然、快速的转换过程^[37]。我们将此称作“突变型”转换。这种突发性的变化, 仅存在于很短时间内, 类似贝壳堤记录的第三等级的变化。因此, 礁体自身及它们与礁间泥质低地转换所蕴含的可能的周期性变化信息, 大致可分为近千年级别的、数百年级别(或百年左右)的和数小时-数日级别的三大类。当然, 这仅是粗略的划分, 礁与泥质低地所记录的古环境变化, 仍有待于今后的进一步深入探索。

2.3.2 确定了牡蛎礁作为海面变化标志点的条件

渤海湾牡蛎礁由 *Crassostrea gigas* (长重牡蛎) 组成, 礁体顶板可达到海平面的高度^[2]。渤海湾牡蛎礁礁体均被潮间带泥层覆盖, 经对 6 处礁体的统计^[8], 它们顶板之上的潮间带泥层平均厚 1.6 m, 近似等于渤海湾平均大潮潮差的一半, 是大致位于海平面的礁顶与 MHWS 之间所能提供的最大调适空间。这一点, 亦为礁顶可达海平面提供了佐证。因此, 以牡蛎礁顶板作为海面标志点, 不必再做高度补偿。但是, 礁体顶板常有起伏。对大吴庄、滨海湖和空港 3 处牡蛎礁礁顶 19 个点的高程实测发现, 同一处礁体顶部起伏幅度在 0.4 ~ 1.4 m 之间, 最大 1.4 m^[8]。另外, 苏

北小庙洪活体牡蛎礁的研究也证实礁顶可达到海平面, 礁顶起伏 0.5 ~ 1.0 m^[25]。因此, 牡蛎礁顶板可以作为海面标志点, 在重建海平面时, 以礁顶的实测高度, 再增加“±0.7 m”礁顶起伏误差范围, 重建当时的海平面^[36, 37]。

2.3.3 牡蛎壳体的生态环境信息研究

牡蛎壳体是生物碳酸钙(CaCO_3)、晶型是自生方解石, 它的氧、碳和锶等稳定同位素组成记录了礁体生长时的环境信息。氧、碳同位素组成揭示了牡蛎壳体生长层有明显的季节性、年际变化和个体同位素年龄, *C. gigas* 在自然状态下壳体的平均生长速率为 1 cm/a^[3, 5, 45]。另外, 范昌福等^[46]讨论了大吴庄和岭头两个牡蛎礁的壳体形态与沉积环境的关系, 认为宽厚的壳体与较粗的沉积物和较低的粘土含量有关, 而细窄的壳体与细粒的沉积物和较高的粘土含量有关。

2.3.4 人类活动与牡蛎礁及岭地确定的海岸线

迄今为止尚未在牡蛎礁中发现人类活动留下的痕迹。但是, 与牡蛎礁群相间分布的、凸起于地表之上的岭地, 却有大量先民活动的遗存。这些岭地, 在牡蛎礁平原原有地方性名称, 如头、坨和台等。从距现代海岸线最远的一道岭地向南东方向直至现代海岸线, 分布着数道岭地。依次是: (1) 普贤坨-东老口岭地; (2) 尔王庄-史庄子-东棘坨岭地; (3) 大贾庄-猪头甸-潘庄-大海北-小海北-桐城岭地; (4) 北侧的后七里海(后海)和南侧的前七里海两个古泻湖之间的近东西向岭地, 从西向东分布着西塘坨-东塘坨-俵口-洛里坨-兴坨-岭头等村落; (5) 在前七里海(即现在的西七里海和东七里海)的南西侧和南侧, 同样有一道近东西向的岭地, 欢坨-西堤头-东堤头-造甲城-傅家台-王家台-乐善庄-大八亩坨-小八亩坨等村落分布其上; (6) 胡家园一带, 从顺治地形图和民访可推断, 也分布着一道岭地(图 17)。

这些古岭地, 与贝壳堤平原泥质堤的成因相同。相对高亢的地势, 为先民提供了居停的场所。上述岭地向南西方向折转, 渐次分别与海河南侧贝壳堤平原的数道贝壳堤相接, 构成了渤海湾西岸数道古海岸线(图 17 ~ 18)。

位于岭地间的前、后七里海, 地势相对低洼(比岭地低 1 ~ 3 m), 是古泻湖。泻湖中钻取的浅表地层岩心和少量的露头剖面显示, 距今约 4 000 年前, 七

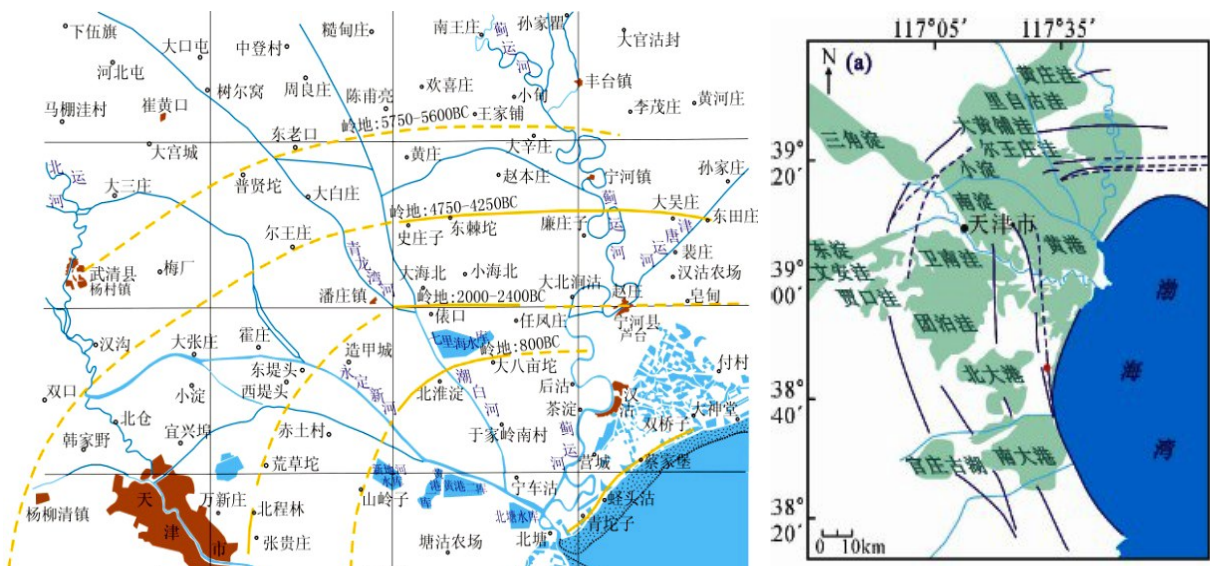


图 17 渤海湾古海岸线重建^[47-52, 54]

Fig.17 Reconstructed ancient coastlines of Bohai Bay^[47- 52,54]

(左)“牡蛎礁平原”上数道岭地分布图,(右)渤海湾西岸贝壳堤平原与牡蛎礁平原由堤、岭地重建的距今约7 000年来的古海岸线。

里海所在地区还属于浅海区,随着海水的退出,逐渐转入高潮时被海水淹没、低潮时出露成大片砂泥滩(界于现代的驴驹河沙滩和马棚口泥滩之间)的潮间带(深度的)泻湖,发育众多的海相软体动物如四角蛤蜊等。接下来,大约在3 000~1 300年前,随着海水入侵逐渐减弱,大气降水和青龙湾河水注入的双重作用,使泻湖的盐度逐渐降低,仅有极少的能耐受更低盐度的蛭和薄壳绿螂存活。至隋唐之后,逐渐脱离高潮水的袭扰而成为淡水湖泊。

3 牡蛎礁保护的相关调查

3.1 牡蛎礁博物馆选址调查

2016年,原天津市海洋局天津古海岸与湿地国家级自然保护区管理处与天津市宁河区七里海管理委员会启动了“天津牡蛎礁博物馆”选址的地质勘查工作。天津华北地质勘查局地质研究所负责钻探与地球物理调查,我们负责岩心编录、取样与综合研究。选址地点位于俵口-罾口河之间的农田中,36个深度12 m的全取心孔,均钻遇牡蛎礁体(图19~20)。俵口-罾口河之间约2.4万m²的调查区内全部钻遇的牡蛎礁,属于第Ⅲ礁群,是迄今为止在“牡蛎礁平原”发现的面积最大的两处礁体中的一处(另一处是河北省唐山市丰南区的大吴庄礁体)。此处礁体顶板平均埋深3.1 m(相当于85高程-2.737 m)、底板埋深8.1 m(85高程-7.684 m),礁体平均厚度约5 m。

礁体满足“天津市牡蛎礁博物馆”建馆要求,为牡蛎礁建馆选定了合适的位置。

3.2 现代活牡蛎礁调查

现代活牡蛎礁体存在于渤海湾西北岸大神堂以南的大、小沙岗及其边缘水域,水深约0.5~4.5 m。2005年,在天津市原房屋与国土资源管理局的支持下,我们首次开展了渤海湾活牡蛎礁地质调查^[52]。天津地质调查中心海岸带与第四纪地质室2007、2011和2019年三次对大神堂近海-潮间带下部活牡蛎礁开展调查(图21)。结果显示1970年代,这里的牡蛎礁连片发育,面积约为35 km²。后由于人为破坏至2007年调查时仅存3个分散的礁区,总面积减少至约3.2 km²,分为西北部(礁体面积约0.9 km²)、南部(礁体面积约0.9 km²)和东北部(礁体面积约1.4 km²)三个相互分割的礁区。至2011年保护区确定前,原西北部礁体已经消失,南部礁体面积降低至约0.5 km²,面积最大的东北部牡蛎礁形状和分布比较稳定。2019年3月的初步勘察结果表明,得益于多年来对海洋特别保护区采取的各类保护和限制措施,面积最大的东北部牡蛎礁北侧出现了新生的连片牡蛎礁,面积达2 km²以上。但可能受限于区域生态恢复时间仍过短,且保护区临近北疆电场冷却水排泄区,以及当地渔业的过度捕捞,大神堂海洋特别保护区的牡蛎礁至今仍呈现分散状态,原西北部礁体仍未恢复,南部礁体发育状况未知,东北部礁体的西部存在

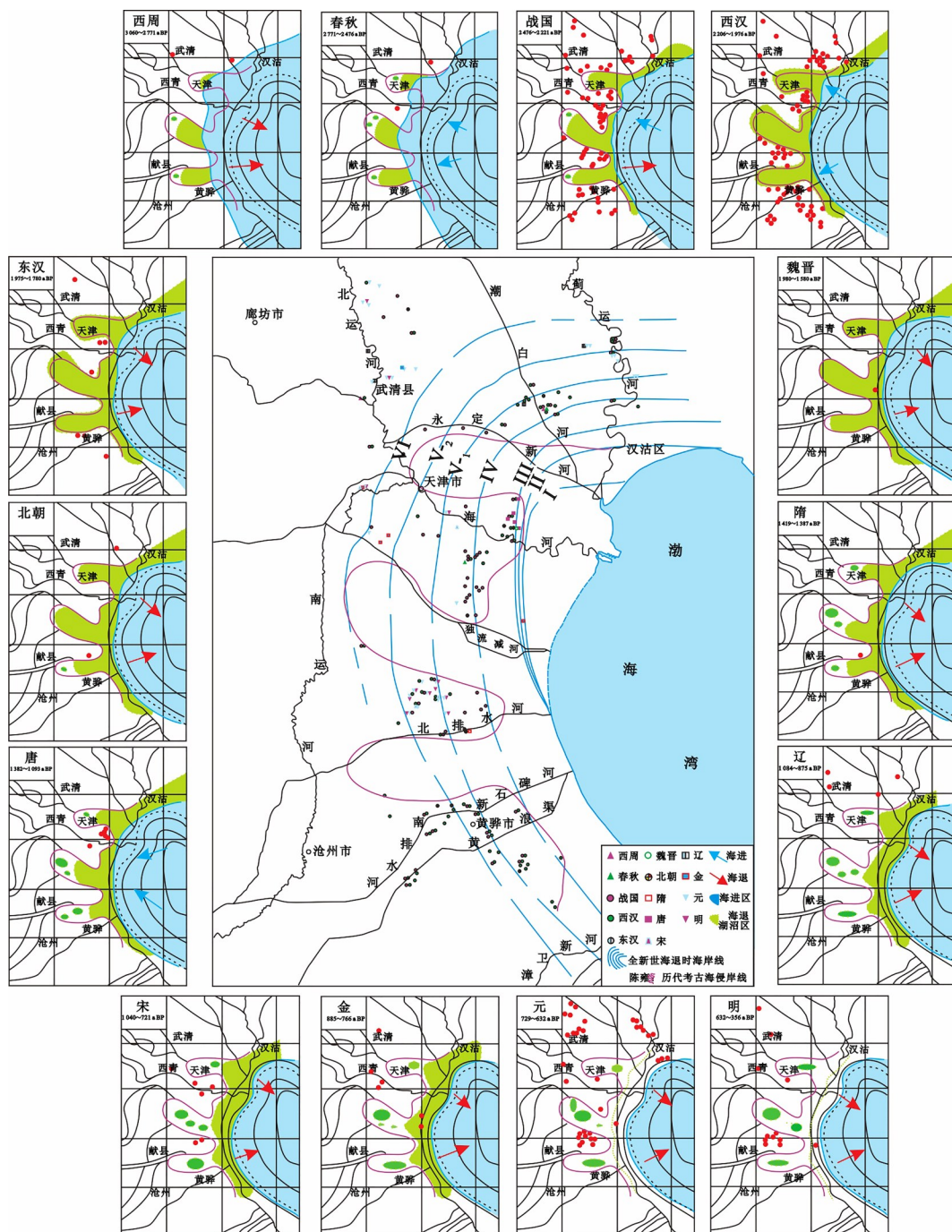


图18 依据贝壳堤与岭地勾勒出的渤海湾西岸距今约7 000年以来的海陆变迁与先民活动关系图(据文献[50])

Fig.18 Map showing the relationship between land and sea changes and ancestor activities on the west coast of Bohai Bay since 7 000 years ago, drew based on the cheniers and ridges (according to reference [50])

萎缩迹象^[53]。

对大神堂活牡蛎尽管未进行更深入的生态地质研究,但近8 000年来渤海湾西北岸已发现的50余处礁体(图14),表明该区域环境状况一直适合牡蛎礁体的生长。前文已述及,近年来渤海湾现代海岸多处零星发育的牡蛎,也说明现代渤海湾沿海环境条件仍适宜牡蛎生长。同时,上述大神堂活牡蛎礁

的调查结果及相关评估^[55]表明了活牡蛎生态修护工程初见成效。因此,建议利用牡蛎开展生态海岸的修复,来改善水体的生态环境,同时起到海滩养护的功能。

4 建议

对牡蛎礁的研究,是认识渤海湾海陆变迁历史、

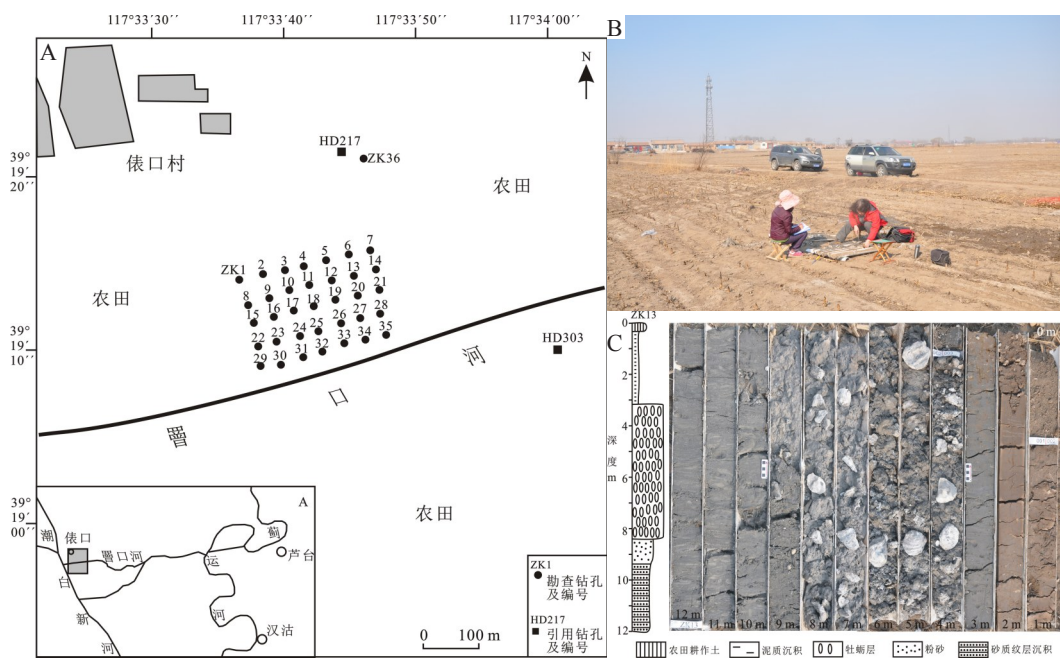


图19 宁河区俵口-罾口河之间农田中的“天津牡蛎礁博物馆”选址调查 (据文献[44])

Fig.19 Site selected survey of the “Tianjin Oyster Reef Museum” in the farmland between Biaokou and Zengkouhe, Ninghe district (according to reference [44])

A, 调查位置; B, 地貌; C, 北侧钻孔ZK13孔岩心, 中间部分均为牡蛎礁

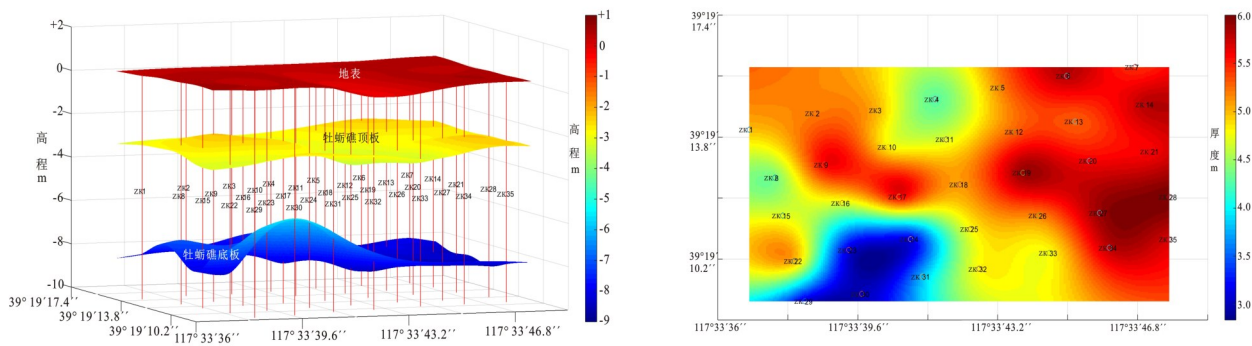


图20 选址调查区内牡蛎礁体空间分布图 (据文献[44])

Fig.20 Spatial distribution map of oyster reefs in the site survey area (according to reference [44])
(左)地表(红色)、礁体顶板(黄色)与底板(蓝色)埋深三维图;(右)牡蛎礁体厚度分布等值线图

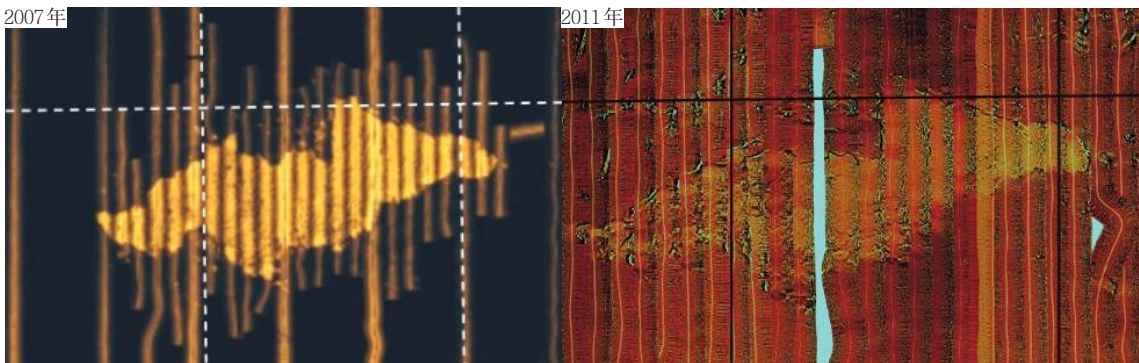


图21 天津市大神堂牡蛎礁国家级海洋特别保护区东北部1号礁体侧扫图像对比图

Fig.21 Comparison map of side-scan sonar images of No.1 reef in the northeast of Tianjin Dashentang Oyster Reef National Marine Special Reserve

预测将来演化方向的钥匙。但深刻认识它们,注定是一个漫长的过程。在这个过程中,我们期望能不断为渤海湾海岸带中长尺度可持续发展和战略决策提供科学的地学建议。牡蛎礁是大自然留赠给渤海湾西岸极为珍贵的地质遗产,但是,牡蛎礁已遭受严重破坏,“牡蛎礁平原”上发现的50余处埋藏牡蛎礁,部分受到严重破坏,其余的也无法直接看到。

鉴于此,提出建议如下:

(1)重启牡蛎礁博物馆选址调研工作。自2003年建立“天津市古林古海岸遗迹博物馆”(天津市贝壳堤博物馆)后,就一直有接续建设“天津市牡蛎礁博物馆”的动议。2016年,在原天津市海洋局天津古海岸与湿地国家级自然保护区管理处和宁河区七里海管委会的组织下,在宁河区俵口村与罾口河之间的农田,开展了牡蛎礁博物馆选址地质勘查,后因变更用地性质有困难等原因而终止。建议天津市自然资源管理部门和宁河区政府积极促成此事,将建立“天津市牡蛎礁博物馆”纳入市、区规划,并首先重启建馆选址工作。建立“牡蛎礁博物馆”,可与已有的“贝壳堤博物馆”形成堤、礁“双馆”的全新局面,这在全国、乃至世界上都是无法复制的,对提升天津市的软实力具有重要意义。

(2)建议河北省有关部门将曹妃甸河口天然牡蛎礁纳入保护对象名单,与唐山市海洋牧场的人工牡蛎礁养殖相结合,使它们成为天然+人工“牡蛎礁海岸”的全国试点。

(3)建议天津市、河北省和山东省有关部门联合调查现代牡蛎在渤海湾西岸、西南岸的扩张现象。从1990年代大米草逐渐遍布渤海湾泥质潮间带以来,“牡蛎扩张现象(oyster expansion)”是渤海湾西岸生态变化的又一个信号,应与建议(2)联合考虑,顺势引导,使之成为有利经济并具长远环境意义的事情。

总体说来,尽管近年来对海岸带湿地的修复逐渐引起重视,但牡蛎礁的科学研究、养护与利用尚未切实纳入自然资源与环境保护部门对渤海湾海岸带中长期发展的统筹考虑之中,与湿地密切相关的牡蛎礁却仍不为政策制定与规划部门熟知,长期处于被忽略的状况。因此,笔者希望所提建议能够得到有关部门的重视,推进牡蛎礁的保护工作。

致谢:此综述是笔者团队30余年来牡蛎礁研究的初步总结,得到了中国地质调查局、国家自然科学基金

金委员会和天津地质调查中心的支持。同时,原天津古海岸与湿地国家级自然保护区管理处、天津市宁河区七里海管委会、原塘沽区排灌处、河北省唐山海洋牧场及渤海湾沿海有关单位及群众提供工作便利和帮助。与南京大学等单位同行们的讨论中得到教益;部分以牡蛎礁和渤海湾沿海平原地质环境变化为学位论文研究内容的学生们,虽然已经离开了天津中心,但这里面也包含着他们的心血;与天津市水产研究所刘克奉研究员、农业农村部东海水产研究所全为民研究员讨论牡蛎定名;与南开大学环境科学与工程学院进行牡蛎DNA标定,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 阙华勇,刘晓,王海燕,等.中国近海牡蛎系统分类研究的现状和对策[J]. 动物学杂志, 2003, 38(4):110-113.
- [2] 王宏,范昌福,李建芬,等.渤海湾西北岸牡蛎礁研究概述[J]. 地质通报, 2006, 25(3):315-331.
- [3] Wang H. Holocene Cheniers and Oyster Reef on the west coast of Bohai Bay (China)[D]. PhD Dissertation, Vrije Universiteit Brussel, 1994, 1-247.
- [4] 范昌福.渤海湾西北岸大吴庄牡蛎礁中全新世古环境[D]. 吉林大学硕士论文, 2005, 1-59.
- [5] 范昌福.渤海西岸全新世埋藏牡蛎礁古环境[D]. 南京大学博士论文, 2008, 1-90.
- [6] 范昌福.渤海西岸中全新世埋藏牡蛎礁古环境记录[D]. 中国地质科学院博士后出站报告, 2010, 1-96.
- [7] 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[D]. 吉林大学硕士论文, 2010, 1-51.
- [8] 王海峰,裴艳东,刘会敏,等.渤海湾全新世牡蛎礁:时空分布和海面变化标志点[J]. 地质通报, 2011, 30(9):1396-1404.
- [9] 王海峰,王宏,范昌福,等.天津空港牡蛎礁:中全新世环境恶化与新构造控礁作用[J]. 地质通报, 2012, 31(9): 1387-1393.
- [10] 王海峰.渤海湾西北岸空港埋藏牡蛎礁古环境及对全球变化的响应[D]. 中国地质大学(北京)硕士论文, 2012, 1-46.
- [11] 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.
- [12] 商志文,苏盛伟,王海峰,等.天津古海岸与湿地国家级自然保护区贝壳堤、牡蛎礁新发现与新问题研究项目成果报告[R]. 2013, 1-104.
- [13] Chonglakmani C, Ingavat R, Piccoli G, et al. The last marine submersion of the Bangkok area in Thailand[J]. Memorie di Scienze Geologiche, 1983, 36: 343-345.

- [14] Hoang N K. The Quaternary geology of the Mekong Lower Plain and Islands in southern Vietnam [A]. In: Thiramongkol N ed. Proceedings of the Workshop on Correlation of Quaternary Successions in South, east and Southeast Asia [C]. Bangkok, Thailand, 1988.
- [15] Scarlato O A. The Bivalve molluscs in the temperate latitudes of western part of the Pacific Ocean[M]. Leningrad Press (in Russian), 1981: 253–254.
- [16] 大自然保护协会(TNC). 拯救牡蛎礁—中国天然牡蛎礁分布及现状[Z/OL]. 2020, 4月9日.
- [17] 黄镇国, 李平日, 张仲英, 等. 华南晚更新世以来的海平面下降, 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[M]. 北京: 海洋出版社, 1986, 178–194.
- [18] 谢在团, 邵合道, 陈峰, 等. 福建沿岸晚更新世以来的海侵, 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[M]. 海洋出版社, 1986, 156–165.
- [19] 韩有松. 牡蛎礁与新河古海岸线[J]. 海洋科学集刊, 1980, (16): 59–65.
- [20] 徐起浩. 福建深沪湾晚更新世古牡蛎滩的发育与留存古环境[J]. 海洋科学, 2002, 26(4): 58–62.
- [21] 徐起浩, 冯炎基, 施建生. 福建深沪湾晚更新世古牡蛎滩与晚更新世中晚期以来的地壳运动[J]. 国际地震动态, 2002, (1): 11–14.
- [22] 王绍鸿, 俞鸣同, 唐丽玉, 等. 福建深沪湾海底古森林遗迹分布区全新世自然环境演变[J]. 第四纪研究, 2001, 21(4): 352–358.
- [23] 俞鸣同, 黄向华. 福建深沪湾潮间带沉积异质体及其成因初探[J]. 海洋科学, 2003, 27(12): 42–44.
- [24] 俞鸣同, 藤井昭二, 坂本亨. 福建深沪湾牡蛎礁的成因分析[J]. 海洋通报, 2001, 20(5): 24–30.
- [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] 耿秀山, 傅命佐, 徐孝诗, 等. 现代牡蛎礁发育与生态特征及古环境意义[J]. 中国科学(B辑), 1991, 8: 867–875.
- [27] Licent E, de Chardin P T. On the recent marine beds, and the underlying freshwater deposits, in Tientsin[J]. Bulletin of the Geological Society of China, 1927, 127–128.
- [28] 翟乾祥. 渤海西岸的形成和演变过程: 关于华北平原全新世的一些问题[R]. 天津市历史博物馆, 1976.
- [29] 翟乾祥. 环渤海潮灾[R]. 天津市历史博物馆, 1979.
- [30] 翟乾祥, 李凤林, 王强. 据历史文献和考古资料论证5 000年以来渤海湾西、北岸海岸线变迁, 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[M]. 北京: 海洋出版社, 1986, 70–80.
- [31] 赵希涛, 耿秀山, 张景文. 中国东部20000年来的海平面变化[J]. 海洋学报, 1979, 1(2): 269–281.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 商志文, 裴艳东, 范昌福, 等. 天津古海岸与湿地国家级自然保护区地勘二期(牡蛎礁)项目勘查综合研究报告[R], 2007, 1–47.
- [36] 李建芬, 商志文, 王福, 等. 渤海湾西岸全新世海面变化[J]. 第四纪研究, 2015, 35(2): 243–264.
- [37] Li J F, Shang Z W, Wang F, et al. Holocene sea level trend on the west coast of Bohai Bay, China: Reanalyses and Standardization[J]. Acta Oceanologica Sinica, accepted.
- [38] Tian L Z, Chen Y P, Jiang X Y, et al. Post-glacial sequence and sedimentation in western Bohai Sea, China, and its linkage to global sea-level changes[J]. Marine Geology, 2017, 388: 12–24.
- [39] 韩有松, 孟广兰. 渤海湾沿岸[A]. 赵希涛主编. 中国海面变化[C], 济南: 山东科学出版社, 1996, 52–70.
- [40] 王宏, 范昌福. 环渤海海岸带¹⁴C数据集(II)[J]. 第四纪研究, 2005, 25(2): 141–156.
- [41] 王宏, 李凤林, 范昌福, 等. 环渤海海岸带¹⁴C数据集(I)[J]. 第四纪研究, 2004, 24(6): 601–613.
- [42] 范昌福, 李建芬, 王宏, 等. 渤海湾西北岸大吴庄牡蛎礁测年与古环境变化[J]. 地质调查与研究, 2005, 28(2): 124–129.
- [43] 彭贵, 张景文, 焦文强, 等.¹⁴C年龄测定报告[A]. 中国第四纪研究委员会碳十四年代学组编. 第四纪冰川与第四纪地质论文集(六)[C]. 北京: 地质出版社, 1990, 86–102.
- [44] 秦磊, 商志文, 李勇, 等. 天津宁河河口—河口牡蛎礁体时空分布[J]. 地质调查与研究, 2017, 40(4): 304–310.
- [45] Wang H, Keppens E, Nielsen P. Oxygen and carbon isotope study of the Holocene oyster reefs and paleoenvironmental reconstruction on the northwest coast of Bohai Bay, China [J]. Marine Geology, 1995, 24: 289–302.
- [46] 范昌福, 裴艳东, 王宏, 等. 渤海湾西北岸埋藏牡蛎礁中的壳体形态与沉积环境[J]. 第四纪研究, 2007, 27(5): 806–813.
- [47] 顺直水利委员会. 渤海湾沿海地区 1/50 000 地形图[M]. 1928.
- [48] 裴艳东, 王宏, 李凤林, 等. 我国近海海洋综合调查与评价(908专项): 天津市海岸带调查报告[R]. 2008, 1–161 (附彩色图版21幅).
- [49] 商志文, 陈永胜, 姜兴钰, 等. 渤海湾西岸西汉先民用海的新发现及对“西汉海侵”的启示[J]. 地质评论, 2015, 61(6): 1468–1481.
- [50] 李凤林. 渤海湾西岸环境地质图集[M]. 北京: 地质出版社, 2015, 1–45.
- [51] 中国地质调查局天津地质调查中心海岸带与第四纪地质室, 21世纪海面上升与我国研究案例: 渤海湾地区(案例1). 泥质海岸带地质环境研究动态[R]. 2018c, 6: 15–31.
- [52] 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[M]. 地质通报, 2010, 29(5):

660–667.

[53] 中国地质调查局天津地质调查中心海岸带与第四纪地质室. 天津市大神堂海区活牡蛎礁调查简报[R]. 2019, 1–2.

[54] Wang F, Li J F, Shi P S. et al. The impact of sea-level rise

on the coast of Tianjin–Hebei, China[J]. *China Geology*, 2019, 1: 26–39.

[55] 于庆云, 张晓理, 韩锡锡. 天津大神堂活牡蛎礁渔业资源养护与生态修复浅析[J]. *海洋经济*, 2014, 4(5): 16–22.

Research status and protection suggestions on oyster reef in Bohai Bay

LI Jian-fen^{1,2,3}, SHANG Zhi-wen^{1,2,3}, CHEN Yong-sheng^{1,2,3}, TIAN Li-zhu^{1,2,3}, Jiang Xing-yu^{1,2,3},
WANG Fu^{1,2,3}, HU Yun-zhuang^{1,2,3}, LI Yong^{1,2,3}, YANG Peng^{1,2,3}, WEN Ming-zheng^{1,2,3},
YUAN Hai-fan^{1,2,3}, SHI Pei-xin^{1,2,3}, WANG Hong^{1,2,3*},

(1. *Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;*

2. *Key Laboratory of Coast Geo-environment, China Geological Survey, CGS, Tianjin 300170, China;*

3. *North China Center for Geoscience Innovation, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)*

Abstract: By compilation of the investigation status and research results of Holocene oyster reefs on the northwest coast of Bohai Bay, the structural characteristics, spatio-temporal distribution and paleo-environmental elements of oyster reefs are described in the article. (1) The oyster reef and the overlying muddy sediments are characterized by "dual structure". (2) Since 8270 years ago, along the NW- SE direction, the oyster reefs, including modern living oyster reefs, have been divided into 10 ~ 14 reef groups of them can be regarded as sub-reef groups. (3) "Transition from reef to overlying mud" and the information of the slow and abrupt environmental changes have been by the normal reef-building layers and the horizontal interlayers. (4) It is determined that the top of the oyster reef can be used as a sea level. The isotopic study of the reef top with increase of the reef top undulation error range of " $\pm 0.7\text{m}$ " is used to reconstruct the sea level; The isotope study of oyster shell reveals the annual and seasonal variations of oyster growth. The oyster reefs and ridges record the history of shoreline changes. Based on above results, the site selection of the Oyster Reef Museum and the survey results of modern live oysters are introduced. Besides, suggestions on the protection of oyster reefs and the use of oyster reefs for ecological coastal restoration are proposed.

Key words: oyster reef; environment change; coast; Bohai Bay; transition from reef to overlying mud