

宁波北仑全新世有孔虫群落变化及古环境意义*

王晓燕^{1,2)} 李保华¹⁾** 郭启梅¹⁾ 钟石兰¹⁾

1) 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008, bh-li@nigpas.ac.cn;

2) 现代古生物学和地层学国家重点实验室, 南京 210008

摘要 通过对宁波北仑 NBBL 钻孔约 6.5 m 长柱状样中的有孔虫进行分析及定量统计, 结合 AMS¹⁴C 测年结果, 恢复了宁波北仑中晚全新世古环境变化历史。研究结果显示, 该区在全新世经历了一个完整的海进-海退演变过程。早中全新世(~7 300 Cal aBP 以前), 宁波北仑为陆地; 自~7 300 Cal aBP 开始, 海水开始影响北仑地区, 该区域为滨岸沼泽相; ~7 150—2 480 Cal aBP 演变为近岸浅海环境, 此时段为海侵最盛期; ~2 480 Cal aBP 以后, 海水影响逐渐减弱, 其后海水完全退出该地区, 北仑地区变为陆地。

关键词 有孔虫 海进 海退 全新世 北仑 宁波

1 前言

宁绍平原是浙北平原的一部分, 海拔一般在 10 m 以下, 其依山临海, 南部为崇山峻岭, 钱塘江、浦阳江等河流自南而北流经平原注入杭州湾和东海。宁绍平原是全新世海平面迅速变化、海岸线迅速变迁、河道系统迅速改变的典型地区之一。滨海地区是至今海岸尚在波动的淤积滩涂(覃军干, 2006)。

宁绍平原也是中国东部史前文化活动最重要的场所之一, 河姆渡文化、良渚文化、跨湖桥文化等在此区域被广泛发现。这些史前文化的分布、兴衰等与全新世海平面波动也有显著关系(吴立等, 2012)。恢复宁绍平原全新世古环境变化, 追踪古海岸线变迁历史具有重要意义。

尽管据孢粉资料推测宁绍平原全新世高温期存在, 但尚无资料证实其精确时限(覃军干, 2006)。王宗涛(1986)、张雪尧、陈俊仪(1990)虽对宁波北仑地区钻孔中有孔虫进行了研究, 仍缺乏明确的测年资料。本研究通过对宁波北仑 NBBL 钻孔中有孔虫群落进行分析, 结合碳屑和贝壳的 AMS¹⁴C 测年结果, 较为精确地恢复了宁波北仑全新世古环境变化历史。

2 材料与方法

研究 NBBL 孔是 2013 年在浙江省宁波市北仑区河南顾钻取, 位于 29°52'57.7" N, 121°55'40.9" E (插图 1), 经测量钻孔地面高程为 2.45 m(1985 国家高程基准)。该浅钻柱状样长 6.55 m。按照沉积物岩性变化, 从上向下依次可分为五层:

层位 I 0—30 cm, 现代耕作层, 褐黄色粘土, 多含有植物根系残体。

层位 II 30—110 cm, 黄褐色含砂质粘土, 质地硬、含水量低。颗粒粗, 以石英、长石颗粒为主, 分选、磨圆差。

层位 III 110—172 cm, 黄褐色粘土, 质地中等偏硬、含水量低。颗粒细, 以石英、长石为主, 分选、磨圆差。

层位 IV 172—650 cm, 青灰色粉砂质粘土, 质地软、含水量高, 沉积物颗粒细。部分层位含有贝壳碎片, 635—640 cm 层位含有大量碳屑。

层位 V 650—655 cm, 青灰色粗砂, 含水量中等, 分选、磨圆差。

本研究根据岩性变化以 5—80 cm 不等间隔采样, 每个样品采集 50 ml, 共分析样品 19 个。有孔

收稿日期: 2017-11-01

* 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05120601, XDA11030104)、国家自然科学基金(41776073, 41276044, 41106035)、中国科学院战略性先导科技专项(B类)(Grant No. XDPB05)和现代古生物学和地层学重点实验室基金(Y026160413)联合资助。

** 通讯作者: 李保华, 研究员, 主要从事新生代海相地层古生物研究。

虫分析采用微体古生物标准分析方法,将湿样置于烘箱中 70℃ 烘干后,称取 20 g 干样,置于自来水中浸泡 2 天,不添加任何分散剂。将分散的样品过 250 目铜筛(孔径 63 μm),用自来水冲去细粒成分。将粗组分(>63 μm)置于烘箱中烘干后,在

显微镜下观察,挑尽有孔虫,并进行属种鉴定及定量统计。有孔虫分类鉴定标准参考何炎等(1965)、郑守仪等(1978)、汪品先(1980)、汪品先等(1980,1988)以及郑守仪、傅钊先(2001)等的属种描述。

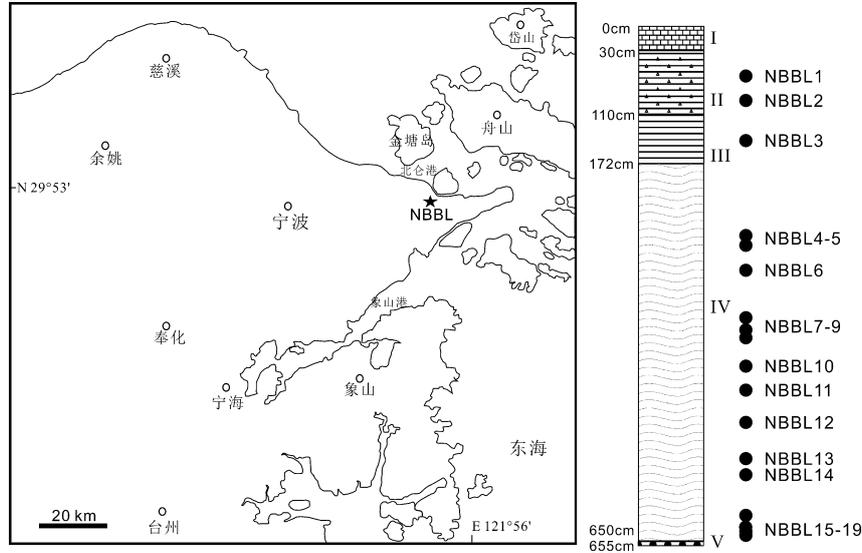


插图 1 NBBL 钻孔地理位置及岩性地层柱状图

Location of Core NBBL and comprehensive stratigraphic column.

I. 耕作土; II. 褐色粘土夹碎屑; III. 褐色粘土; IV. 灰色粉砂质粘土; V. 灰色粗砂。NBBL 1—19. 采样号。

I. cultivated soil; II. brown clay with debris; III. brown clay; IV. gray silty clay; V. gray coarse sand. 1—19. Sampling numbers.

宁绍平原是海岸线迅速变迁、河道系统迅速改变的地区,沉积过程较为复杂,难以找到具有较好测年结果的柱状样。NBBL 钻孔所在的河南顾,位于一个小面积的海岸平原,北临金圻水道,东、西、南三面被中生代火山岩组成的低山丘陵所环抱(王宗涛, 1986),便于连续沉积。本研究通过显微镜下观察,从粗组分中挑选出贝壳碎片、木炭碎屑等材料 (>20 mg),供 AMS ^{14}C 测年。

3 结果与讨论

3.1 测年结果

本研究从 300—302 cm、470—475 cm、510—520 cm、640—645 cm 及 645—650 cm 五个层位挑选出贝壳碎片,且从 290—295 cm、635—640 cm 层位挑选出碳屑,数量比较充足,分别在北京大学及美国 Beta 实验室进行 AMS ^{14}C 测年,共获得了 7 个较为可靠的测年数据(表 I)。

3.2 有孔虫群落变化及古环境讨论

NBBL 钻孔中沉积物大于 63 μm 的粗组分以石

英、长石为主,部分样品中含有较多的云母及植物碎屑等。粗组分含量变化与有孔虫化石的产出有一定的相关性。粗组分含量较高时,样品中有孔虫较少或者几乎不含有孔虫。而粗组分含量较低的层位,有孔虫的含量则较为丰富。在 0—170 cm 层位,粗组分含量高达 20%,样品中未发现孔虫化石。278—645 cm 层位,粗组分的含量较低、为 10% 以内,样品有孔虫化石连续产出。645—655 cm 层位,粗组分的含量又显著升高、达 25% 以上,样品中无有孔虫。

NBBL 钻孔中发现的有孔虫化石保存状态较好,壳体透明、壳内无填充,大部分壳体完整,极少量样品壳体有破损。另外,钻孔中有孔虫均为底栖有孔虫且均为玻璃质壳,未见胶结壳和瓷质壳类型。每 50 g 干样中含有 0—2 100 枚有孔虫化石,经鉴定为有孔虫 8 属 13 种。单个样品中含有 2—10 种有孔虫,复合分异度 $H(s)$ 为 0.2—1.1。

研究钻孔中底栖有孔虫以 *Ammonia beccarii* vars. 为绝对优势属种,含量高达 69%—94%,另有 *Elphidium advenum*, *Elphidium hispidulum*, *Cribronion subincertum*, *Cribronion vitreum* 等较为常见, *Elphidiella kiangsuenensis*, *Elphidium lim-*

pidum, *Nonionella atlantica*, *Protelphidium tuberculatum*, *Elphidium magellanicum* 等属种常见, 偶见 *Hanzawaia mantaensis*, *Rectoelphidiella lepida*, *Ammonia annectens* 等属种(见插图 2)。

表 I NBBL 钻孔测年结果

AMS ^{14}C ages in Core NBBL.

样品编号	实验室编号	深度(cm)	材料	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	con. ^{14}C 年龄(a BP)	日历年	测试单位
1	140646	290—295	碳屑		2 685±30	2 480—2 200	北京大学
2	140647	300—302	贝壳		3 260±25	3 200—2 980	北京大学
3	412517	470—475	贝壳	+1.2	6 420±30	6 880—6 655	Beta 实验室
4	412511	510—520	贝壳	+0.8	6 620±30	7 150—6 890	Beta 实验室
5	412512	635—640	碳屑	-27.6	6 380±30	7 415—7 350	Beta 实验室
6	412510	640—645	贝壳	-0.9	6 850±30	7 365—7 165	Beta 实验室
7	412513	645—650	贝壳	0.7	6 790±30	7 295—7 135	Beta 实验室

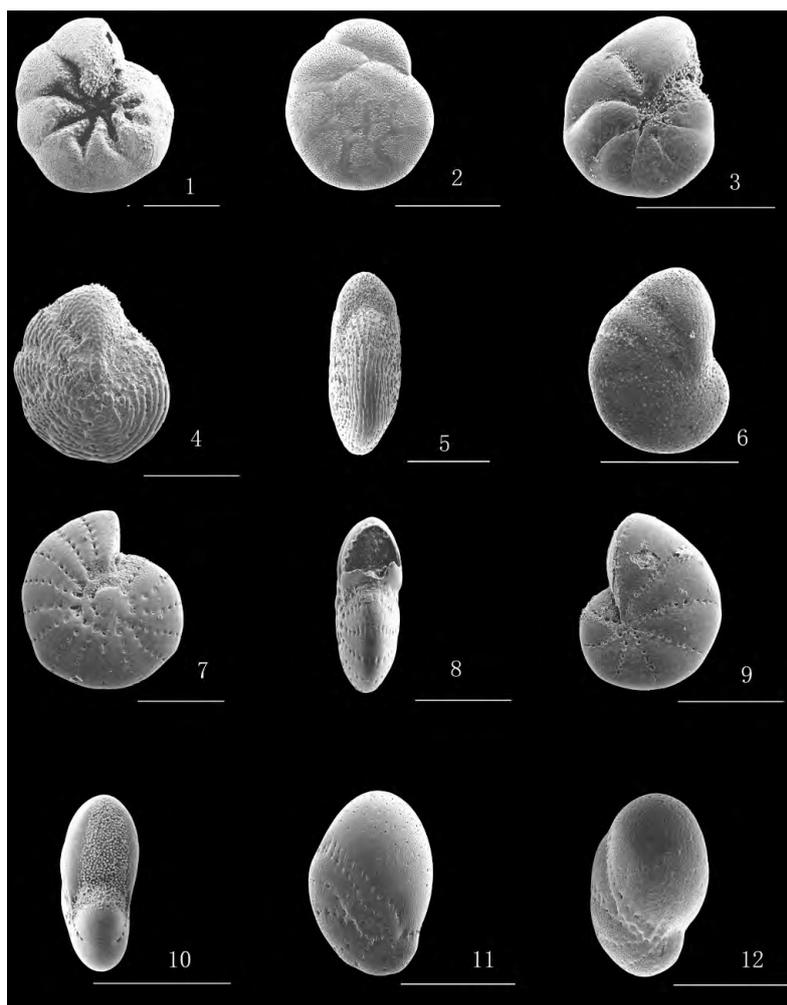


插图 2 NBBL 钻孔中产出的底栖有孔虫

Benthic foraminiferal fossils in Core NBBL.

1, 2. 毕克卷转虫 *Ammonia beccarii* (Linné) vars. , 1. 腹视 (Ventral view); 2. 背视 (Dorsal view), 孔深 (depth): 278—283 cm. 3. 缝裂希望虫 *Elphidium magellanicum* Heron-Allen and Earland, 侧视 (Lateral view), 孔深 (depth): 321—326 cm. 4, 5. 茸毛希望虫 *Elphidium hispidulum* Cushman, 4. 侧视 (Lateral view); 5. 口面视 (Apertural view), 孔深 (depth): 555—560 cm. 6. 江苏小希望虫 *Elphidiella kiangsuensis* Ho, Hu and Wang, 侧视 (Lateral view), 孔深 (depth): 278—283 cm. 7, 8. 清晰希望虫 *Elphidium limpidum* Ho, Hu and Wang, 7. 侧视 (Lateral view); 8. 口面视 (Apertural view), 孔深 (depth): 515—520 cm. 9, 10. 清晰筛九字虫 *Cribronion vitreum* Asano, 9. 侧视 (Lateral view); 10. 口面视 (Apertural view), 孔深 (depth): 405—410 cm. 11, 12. 精美直小希望虫 *Rectoelphidiella lepida* Ho, Hu and Wang, 11. 侧视 (Lateral view); 12. 口面视 (Apertural view), 孔深 (depth): 440—445 cm. 所有标本采自宁波北仑 NBBL 钻孔, 图中比例尺均为 200 μm (All figured specimens are from Core NBBL in Beilun, Ningbo. The magnification is shown by the scale bar, which represents 200 μm).

本研究计算了有孔虫的丰度、简单分异度、复合分异度、粗组分含量及 *Ammonia beccarii* vars., *Elphidium advenum*, *Elphidium hispidulum*, *Cri-*

brononion subincertum, *Cribrononion vitreum* 等主要属种的相对含量变化,以恢复区域古环境演化过程(插图 3)。

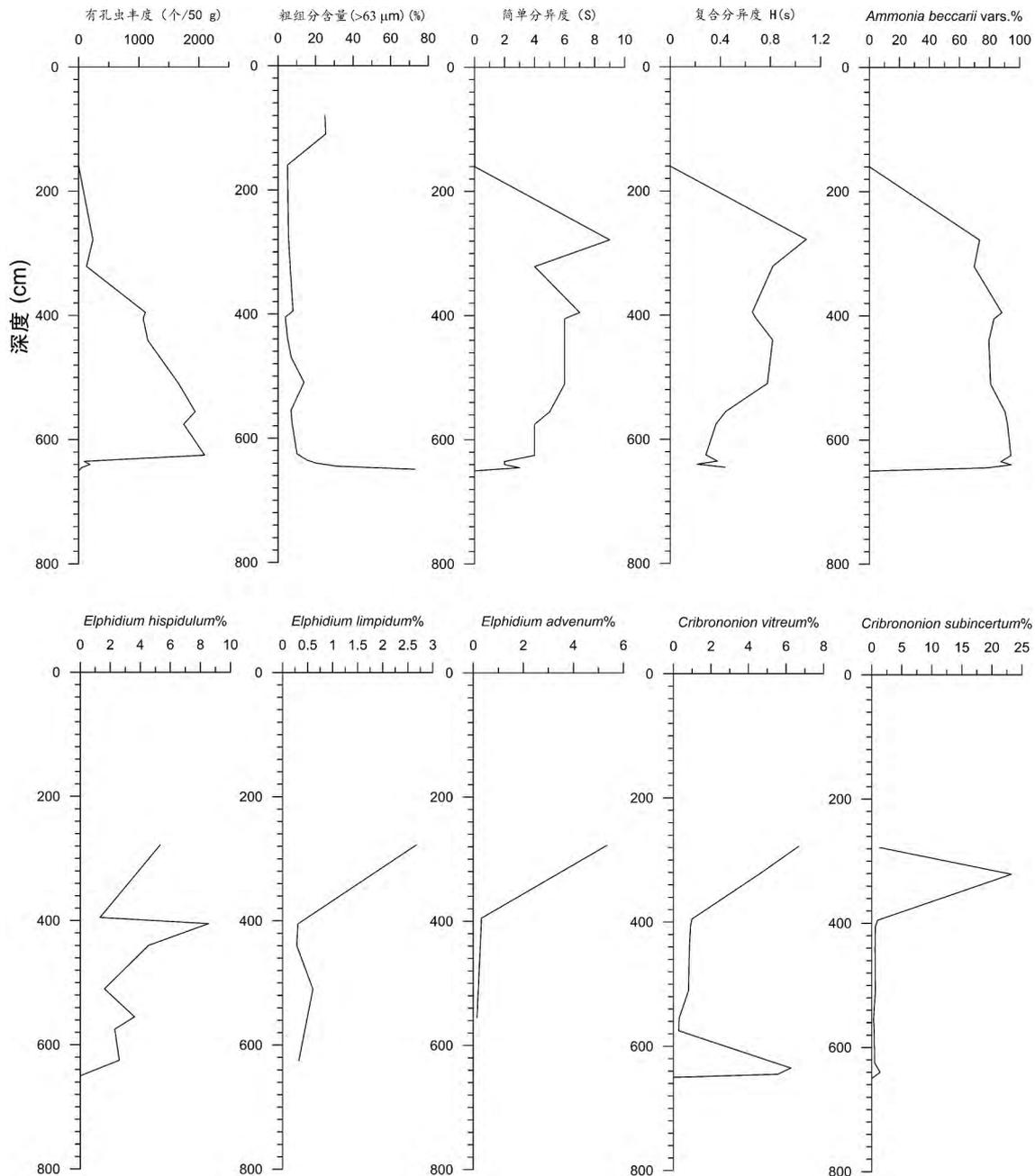


插图 3 NBBL 钻孔中有孔虫丰度、简单分异度、复合分异度[H(s)]、 $>63 \mu\text{m}$ 粗组分百分含量及主要属种百分含量变化
Foraminifera abundance, simple diversity (S), composite diversity H(S), coarse fraction and the percentage of main
foraminifera species variations in Core NBBL.

655—650 cm 层段:未发现有孔虫,推测此层段为陆相沉积,海水对该区域尚无影响。

625—650 cm 层段:见有少量的底栖有孔虫,但有孔虫属种数量偏低、每个层位仅含有 2—3 个种。该层段中底栖有孔虫仅为 *Ammonia beccarii* vars., *Cribrononion vitreum* 或 *Cribrononion subincer-*

tum, 且有孔虫的数量较少,挑尽样品,有孔虫丰度为 47.5—190 枚/50 g。另外,在 635—640 cm 层位中还发现了大量保存完好的植物碳屑,测年显示其为 7415—7350 Cal aBP。在 7000 年左右,余姚河姆渡、慈溪、镇海、上虞白马湖等,均有泥炭层的发现(史威等,2008)。大陆-海洋过渡地区,是泥炭集中

地区,泥炭沼泽发育于海面相对稳定的半咸水环境(张树夫,1991)。根据有孔虫群落分析结果,结合泥炭的出现,说明 625—650 cm 层段应为靠近海洋的微咸水沼泽环境,为滨岸沼泽相。即自~7 300 Cal aBP 以来,宁波北仑地区处于缓慢的海侵过程,海水开始影响宁绍平原地区。

625—327 cm 层段:有孔虫较为丰富,每个层位含有 4—9 种;有孔虫丰度也大大增加,每个层位中可以达到 1 100—2 100 枚/50 g,有孔虫复合分异度 $H(s)$ 达 0.4—1.08。该层段中底栖有孔虫以 *Ammonia beccarii* vars., *Cribronion subincertum*, *Cribronion vitreum* 等为优势种,其中 *Ammonia beccarii* vars. 含量高于 80%。另外,该层段 *Elphidium advenum*, *Elphidium simplex*, *Elphidium hispidulum*, *Elphidium limpidum* 等属种含量也较为常见, *Hanzawaia mantaensis*, *Rectoelphidiella lepida* 等少量产出。

326—278 cm 层段:有孔虫丰度大大降低,为 130—230 枚/50 g,含有 4—9 种有孔虫,分别为: *Ammonia beccarii* vars., *Cribronion vitreum*, *Cribronion subincertum*, *Nonionella atlantica*, *Elphidiella kiangsuensis*, *Elphidium advenum*, *Elphidium hispidulum*, *Elphidium limpidum*, *Rectoelphidiella lepida*, *Elphidium magellanicum* 等。其中 *Ammonia beccarii* vars. 为优势种,含量略有下降,约为 70%。复合分异度 $H(S)$ 为 0.8—1.08。625—278 cm 层段的有孔虫组合与浙江沿岸水深 < 20 m 的化石群组成(严钦尚、洪雪晴,1987)较为相似,说明此层段,在宁波北仑为浅海环境。测年结果显示,孔深 630—395 cm 年龄为 7 350—6 610 Cal aBP,孔深 295—290 cm 处,发现大量碳屑,其测年结果为~2 480—3 200 Cal aBP,说明在 7 350—2 480 Cal aBP 时段,宁波北仑地区处于高海平面时期,为全新世海侵最盛期,沉积了厚度较大的海侵序列沉积层。

278—170 cm 层段:海水影响逐渐减弱并最后退出本区域。直至 170—30 cm 层位,挑尽样品,均未发现有孔虫产出。推测~2 480 Cal aBP 以后的全新世晚期,本区域为陆相环境。考古研究在 NB-BL 钻孔南部的北仑沙溪发现了生活于 5 000—3 800 年的良渚文化遗址(蒋乐平、徐军,2005)。有孔虫群落研究结果与考古的研究结果较为一致,说明古人类在距海不远的滨岸繁衍生息。

4 结 论

本研究通过对 NBBL 钻孔中有孔虫定量统计分析,结合 AMS¹⁴C 测年结果,恢复了浙江北仑全新世以来的古环境演化历史。早全新世(~7 300 Cal aBP 以前),北仑地区为陆地。自~7 300 Cal aBP 开始,海水开始影响北仑地区,该区域为滨岸沼泽相,此后,~7 150—2 480 Cal aBP 演变为近岸浅海环境,且此时段为全新世海侵最盛期;~2 480 Cal aBP 之后,海水缓慢退出该地区,北仑地区变为陆地环境。因此,NBBL 钻孔记录了北仑地区全新世一个完整的海进-海退演化序列。同时,本研究结果与前人在长江三角洲南部平原的研究结果也较为一致(严钦尚、洪雪晴,1987)。

致谢 李忠和、杜开明在野外钻孔取样过程中付出辛勤劳动,同济大学赵泉鸿老师对文稿提出宝贵修改建议,特此致谢。

参 考 文 献 (References)

- He Yan (何 炎), Hu Lan-ying (胡兰英), Wang Ke-liang (王克良), 1965. Quaternary Foraminifera in the east region of Jiangsu Province. *Memoirs of Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Science (中国科学院地质古生物研究所集刊)*, **4**: 51—162 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Le-ping (蒋乐平), Xu Jun (徐 军), 2005. Brief report on the excavation of Neolithic sites in Beilun, Shaxi. *Relics from South (南方文物)*, **1**: 1—13 (in Chinese).
- Qin Jun-gan (覃军干), 2006. Palynological Study of Ningshao Plain and Paleoenvironmental Significance since Late Pleistocene. A Dissertation Submitted to Tongji University in Conformity with the Requirements for the Degree of Doctor of Sciences. 1—148 (in Chinese with English abstract).
- Shi Wei (史 威), Ma Chun-mei (马春梅), Jiao Feng (焦 峰), Zhu Cheng (朱 诚), Wang Fu-bao (王富葆), 2008. Archaeological sites, buried peat and fluctuation of sea-level in Holocene in the Ningshao Plain in Zhejiang Province, China. *Acta Oceanologica Sinica (海洋学报)*, **30**(4): 169—175 (in Chinese with English abstract).
- Wang Pin-xian (汪品先), 1980. Collection of Papers on Marine Microfossil. Beijing: China Ocean Press. 1—204 (in Chinese with English abstract).
- Wang Pin-xian (汪品先), Min Qiu-bao (闵秋宝), Bian Yun-hua (卞云华), Zhang Ji-jun (章纪军), 1980. Micropaleontologic characteristics of relict sediments of the East China Sea. *Acta*

- Oceanologica Sinica (海洋学报), 2(1): 67—78 (in Chinese with English abstract).
- Wang Pin-xian (汪品先), Zhang Ji-jun (章纪军), Zhao Quan-hong (赵泉鸿), Min Qiu-bao (闵秋宝), Bian Yun-hua (卞云华), Zheng Lian-fu (郑连福), Cheng Xin-rong (成鑫荣), Chen Rong-hua (陈荣华), 1988. Foraminifera and Ostracods in Bottom Sediments of the East China Sea. Beijing: China Ocean Press. 1—438 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zong-tao (王宗涛), 1986. Quaternary marine strata in Beilun harbor area and their paleogeographical significance. Marine Geology & Quaternary Geology (海洋地质与第四纪地质), 6(1): 43—52 (in Chinese with English abstract).
- Wu Li (吴立), Zhu Cheng (朱诚), Zheng Chao-gui (郑朝贵), Li Feng (李枫), Ma Chun-mei (马春梅), Sun Wei (孙伟), Li Su-yuan (李溯源), Shui Tao (水涛), Wang Xin-hao (王鑫浩), Shao Shi-xun (邵仕训), Zhou Yao (周曜), He Ting-ting (何婷婷), 2012. Response of prehistoric culture to climatic environmental changes since Holocene in Zhejiang, East China. Acta Geographica Sinica (地理学报), 67(7): 903—916 (in Chinese with English abstract).
- Yan Qing-shang (严钦尚), Hong Xue-qing (洪雪晴), 1981. Holocene transgression in the southern plains of the Yangtze River Delta. Acta Oceanologica Sinica (海洋学报), 9(6): 744—752 (in Chinese).
- Zhang Shu-fu (张树夫), 1991. The peat in Ning Shao plain of Zhejiang Province and its reflection on the sea-level changes. Journal of Nanjing Normal University (Natural Science) (南京师范大学学报, 自然科学版), 14(1): 75—84 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xue-yao (张雪尧), Chen Jun-yi (陈俊仪), 1990. The sedimentary environment of Ningbo Formation and the opinion on its evolution in Beilun harbor district, Zhejiang Province. Geology of Zhejiang (浙江地质), 6(1): 7—19 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Shou-yi (郑守仪), Fu Zhao-xian (傅钊先), 2001. Fauna Sinica-phylum Granuloreticulosa, Class Foraminifera, Agglutinated Foraminifera. Beijing: Science Press. 1—78 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Shou-yi (郑守仪), Cheng Tsi-chuang (郑执中), Wang Xi-tang (王喜堂), Fu Zhao-xian (傅钊先), 1978. The Quaternary foraminifera of the Dayuzhang irrigation area, Shandong Province, and a preliminary attempt at an interpretation of its depositional environment. Studia Marina Sinica (海洋科学集刊), 13: 16—78 (in Chinese with English abstract).

HOLOCENE VARIATION OF THE FORAMINIFERAL ASSEMBLAGE AT BEILUN, NINGBO, ZHEJIANG AND ITS PALAEOENVIRONMENTAL IMPLICATION

WANG Xiao-yan^{1, 2)}, LI Bao-hua¹⁾, GUO Qi-mei¹⁾ and ZHONG Shi-lan¹⁾

1) Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China, bh-li@nigpas.ac.cn;

2) State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing 210008, China

Key words Foraminifera, transgression, regression, Holocene, Beilun, Ningbo

Abstract

Based on the quantitative analysis of foraminifera from Core NBBL and the AMS¹⁴C dating, Holocene sedimentary environment change at Beilun, Ningbo was reconstructed. The result showed that a

transgression-regression cycle occurred in this area during the middle and late Holocene. At ~7300 cal. aBP, the environment of Beilun was influenced by the marine setting. During ~7150—2480 cal. aBP, the sediment was under a shallow marine facies. After ~2480 cal. aBP, the sea water became shallower, and finally retreated from this area.