



现代黄河三角洲北岸1.9Ma以来孢粉组合及古环境变化

路晶芳, 刘健, 胡刚, 黄威, 王红, 张道来

引用本文:

路晶芳, 刘健, 胡刚, 黄威, 王红, 张道来. 现代黄河三角洲北岸1.9Ma以来孢粉组合及古环境变化[J]. 沉积学报, 2022, 40(5): 1335-1345.

LU JingFang, LIU Jian, HU Gang, HUANG Wei, WANG Hong, ZHANG DaoLai. Pollen Assemblages and Induced Palaeoenvironmental Changes in the Yellow River Delta Since 1.9 Ma[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2022, 40(5): 1335-1345.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

东海内陆架泥质体远端表层沉积物孢粉分布规律及其环境意义

Pollen Distribution and its Environmental Interpretation for the Surficial Sediment in the Southern Mud Belt along the East China Sea Inner Shelf

沉积学报. 2021, 39(3): 610-620 <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2020.113>

辽东苏子河盆地聂尔库组沉积相与沉积环境研究

Study of Sedimentary Facies and Environment of the Nieerku Formation, Suzihe Basin, Eastern Liaoning

沉积学报. 2019, 37(1): 30-39 <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2018.114>

鲁北平原晚第四纪地层结构及沉积演化

Stratigraphic Structure and Sedimentary Evolution during Late Quaternary in Lubei Plain

沉积学报. 2016, 34(1): 90-101 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2016.01.008>

江苏南通地区晚第四纪下切河谷沉积与环境演变

Sedimentary Characteristics and Environmental Evolution of the Late Quaternary Incised-Valley Fills in the Nantong Area of Jiangsu Province, China

沉积学报. 2016, 34(2): 268-280 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2016.02.006>

山东广饶地区晚更新世以来沉积演化与古气候变迁

Depositional Evolution and Paleoclimate Changes Since Late Pleistocene in Guangrao Area, Shandong Province

沉积学报. 2016, 34(1): 79-89 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2016.01.007>

文章编号:1000-0550(2022)05-1335-11

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2021.030

现代黄河三角洲北岸 1.9Ma 以来孢粉组合及古环境变化

路晶芳^{1,2}, 刘健¹, 胡刚^{1,2}, 黄威^{1,2}, 王红¹, 张道来¹

1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 山东青岛 266071

2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东青岛 266071

摘要 通过对现代黄河三角洲地区 YRD-1101 钻孔的沉积地层研究和孢粉分析, 认为该地区 1.9 Ma 以来孢粉组合代表的植被面貌自下而上表现为: 针叶阔叶混交林—灌丛草甸—落叶针叶—阔叶混交林—落叶阔叶林—常绿阔叶落叶林—针叶阔叶混交林—落叶阔叶混交林—针叶落叶混交林及灌丛草甸—落叶阔叶混交林及林下灌丛。YRD-1101 钻孔沉积特征变化显著, 孢粉组合波动频繁。第四纪期间存在 3 次大的气候拐点, 分别发生在 0.75 Ma, 0.125 Ma 和 9.1 ka, 气候整体表现为温度逐渐上升、湿度逐渐升高的特点。特别是晚更新世以来气候趋于温暖湿润, MIS2 陆相沉积阶段气候短暂转为凉爽干燥, 海平面下降, 植被以耐干旱草地灌丛植被扩张为特点; 全新世阶段气温升高、湿度增加, 海平面上升, 植被以木本植物再次扩张、蕨类和藻类增加为特点。这一趋势与我国第四纪海侵地层分布及范围一致。

关键词 第四纪; 黄河三角洲; 孢粉; 古环境变化

第一作者简介 路晶芳, 女, 1980 年出生, 博士, 副研究员, 古生物学与海洋地质学, E-mail: lujingfangcug@126.com

通信作者 胡刚, 男, 教授级高工, E-mail: hugang@mail.cgs.gov.cn

中图分类号 Q913.84 **文献标志码** A

0 引言

三角洲是以陆源碎屑为主的海陆过渡相沉积体, 受水动力、地形地貌等因素相互作用, 以及边缘海作用、海平面变化和季风等一系列影响, 详细记录了丰富的古气候与环境演化信息。黄河三角洲是黄河自青藏高原发育后流经黄土高原携带大量泥沙, 最终在入海时受到海陆交互作用而形成的地质体。该地区沉积物主要来自黄河的细颗粒物, 其沉积层序连续性好、沉积速率高, 蕴含了古气候变化、海平面波动、黄河变迁和三角洲演化等多方面信息^[1-3]。第四纪时期全球性冰期—间冰期气候变化规律, 可以作为划分第四纪地层和识别气候事件的标志。研究区第四纪出现数次重大气候事件, 发现了影响范围广大的海侵地层, 海平面高程变化显著。根据沉积学、年代学、微体古生物学等手段的研究结果, 明确了晚更新世以来三次海侵过程, 并将其地层分别

对应深海氧同位素 MIS1、MIS3 和 MIS5 三个阶段^[4-10]。这种划分方案以及古海岸线和海侵范围的确定, 已经广为认可^[11-15]。但是对第四纪长尺度孢粉学与气候事件响应的研究较为薄弱, 多数研究将小区域内全新世钻孔结果进行对比, 缺少更新世以来连续地层的系统孢粉学分析。

本文选取现代黄河三角洲地区贯穿第四系地层的连累岩心作为研究载体, 获取 1.9 Ma 以来孢粉化石资料, 结合古地磁、光释光和 AMS¹⁴C 同位素测年等数据构建年代学框架, 试图建立该地区第四纪的植被演化序列, 恢复古气候和古环境, 为该地区第四纪植被与气候演化研究提供新资料。

1 地质概况

渤海西岸的山东半岛位于胶北隆起和胶莱断陷之上, 地质构造复杂, 有栖霞复背斜和北东向断裂、

收稿日期: 2020-06-22; 收修改稿日期: 2021-02-04

基金项目: 国家自然科学基金(41676052); 中国地质调查局地调项目(DD20190236); 国家重点研发计划(2017YFC0306603) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41676052; Geological Investigation Project of China Geological Survey, No. DD20190236; National Key Research and Development Project, No. 2017YFC0306603]

近南北向、北东向及北西向断裂。区内出露地层分别有太古界胶东群(分布于栖霞、招远、莱阳、蓬莱、牟平一带,是胶东群主要含矿岩系)、下元古界粉子山群(见于福山、蓬莱、莱州,贮藏有丰富的金属、非金属矿产)、上元古界蓬莱群(见于栖霞、福山、蓬莱、长岛等地,该群与胶东群、粉子山群呈角度不整合接触)、中生界上侏罗系莱阳组(含油岩及煤线)、中生界下白垩系青山组(岩性主要为一套火山岩系)、中生界上白垩系白垩组(主要为一套红色陆相碎屑沉积夹中基性火山岩)、新生界下第三系黄县组(属典型的内陆湖泊相,含煤和油页岩碎屑沉积)和第四系^[16]。第四纪以来为拗陷构造期,整体沉降,呈北东—南西向分区,主要构造单元有隆起单元(埕宁隆起和沧县隆起)和拗陷单元(黄骅拗陷、冀中拗陷、和济阳拗陷)。黄河三角洲位于埕宁隆起和济阳拗陷两个构造单元交汇处,广泛发育海陆交互沉积地层,构造运动处于拗陷阶段^[17-19]。

研究区地处中纬度,气候季节差异显著,冬夏温差大。冬季受蒙古—西伯利亚一带冷空气的影响,温度较低。1月(最冷月)年均温大约为 -3.50°C ,7月(最热月)年均温约为 26.5°C ,全年年平均气温约为 12.8°C 。受海洋调节作用的影响,研究区具有雨量

丰富、空气湿润、气候温和等特点。降水变率大,时空分布不均,四季相差悬殊。夏季受太平洋暖湿气流的影响,降水较多,一般集中于6—9月,占全年的75%左右,10月至次年5月降水较少。黄河三角洲背陆面海,受欧亚大陆和太平洋的共同影响,属于暖温带半湿润大陆性季风气候,无霜期超过200天,年降水量高达600 mm且多集中在夏季^[20-21]。该地区植物种类繁多,植被覆盖面积超过50%,正逐渐成为中国沿海规模最大的海滩植被区域^[22]。

2 材料方法

在现代黄河三角洲东营市刁河镇获取岩心一根(编号为YRD-1101),坐标为 $38^{\circ}02'08.97''\text{N}$, $118^{\circ}36'25.88''\text{E}$ (图1)。该钻孔位于渤海西缘,钻孔深度为200.30 m,岩心顶部0~3.36 m为人工回填土。取样方式采用油压式钻机全取心钻孔取样^[17]。

YRD-1101孔岩心的岩性特征自上而下描述如下^[17]:1)人工填土层(0~3.36 m);2)黏土质粉砂与粉砂互层(3.36~14.16 m),底部可见有机质;3)黏土质粉砂层(14.16~22.20 m):可见黏土质粉砂与粉砂互层,少量锈斑和贝壳碎屑;4)粉砂和细砂层(22.20~

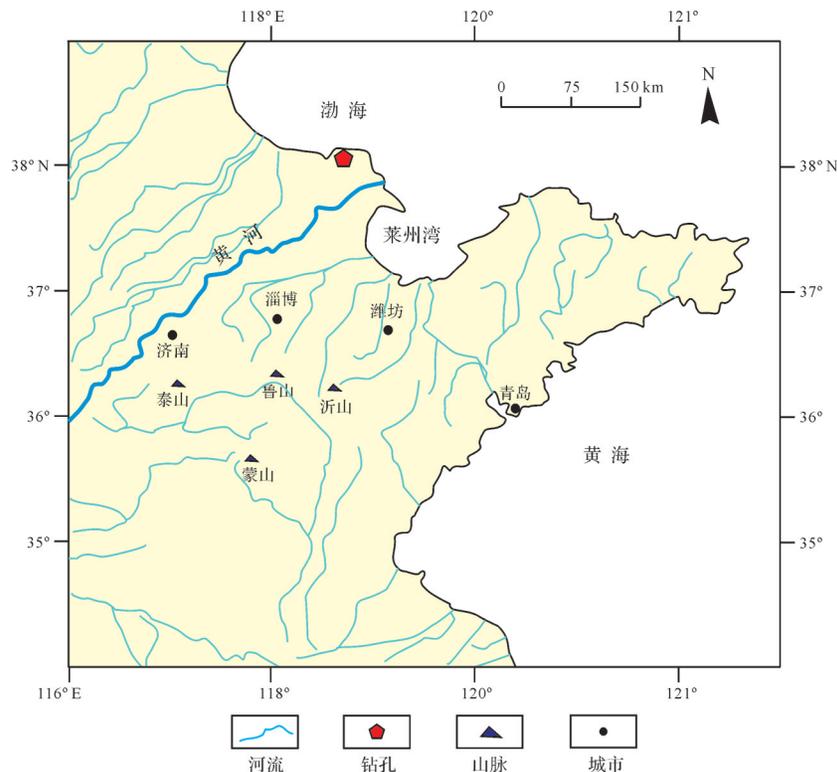


图1 现代黄河三角洲YRD-1101钻孔地理位置图

Fig.1 Location of core YRD-1101 in the modern Yellow River Delta

31.43 m);可见中砂层,局部黏土富含有机质;5)黏土质粉砂与粉砂条带层(31.34~77.00 m):可见灰黄色粉砂质细砂、细砂和中砂,有生物扰动现象,可见零星贝壳碎屑及棕黄色锈斑、钙质结核;6)粉砂与中砂互层(77.00~200.30 m):少量粗砂,零星可见棕色锈斑、钙质结核,以及碳质斑点、生物潜穴。

通过对钻孔的岩石磁学、古地磁学、AMS¹⁴C测年和光释光测年,建立钻孔的年代学格架^[17-19](图2)。古地磁学研究结果显示早、中更新世界限于钻孔123.33 m,推测该钻孔底部(200.3 m)的年代为1.9 Ma^[17]。根据光释光和 AMS¹⁴C测年,该钻孔55.62 m以上地层对应晚更新世以来的沉积,其中

1855年以来现代黄河三角洲沉积位于钻孔上部(3.36~13.85 m)^[17-19]。

YRD-1101孔取孢粉样品700个,取样间距0.1~0.8 m不等。孢粉分析流程依据 Moore *et al.*^[23]提出的方法,取10 g干样,加入1粒石松孢子药片用于孢粉浓度统计;加入15%盐酸溶液去除样品中的钙质,加入40%氢氟酸除去样品中的硅质;再将样品放入超声波发生器中震荡,用孔径10 μm尼龙筛过滤,将处理完毕的样品制成薄片,在光学显微镜下观察鉴定。所有样品进行浓度计算,对于孢粉鉴定数量大于50粒的样品进行百分比计算。用Tilia软件绘制孢粉百分比含量图谱,使用CONISS对孢粉谱进行组合带划分。

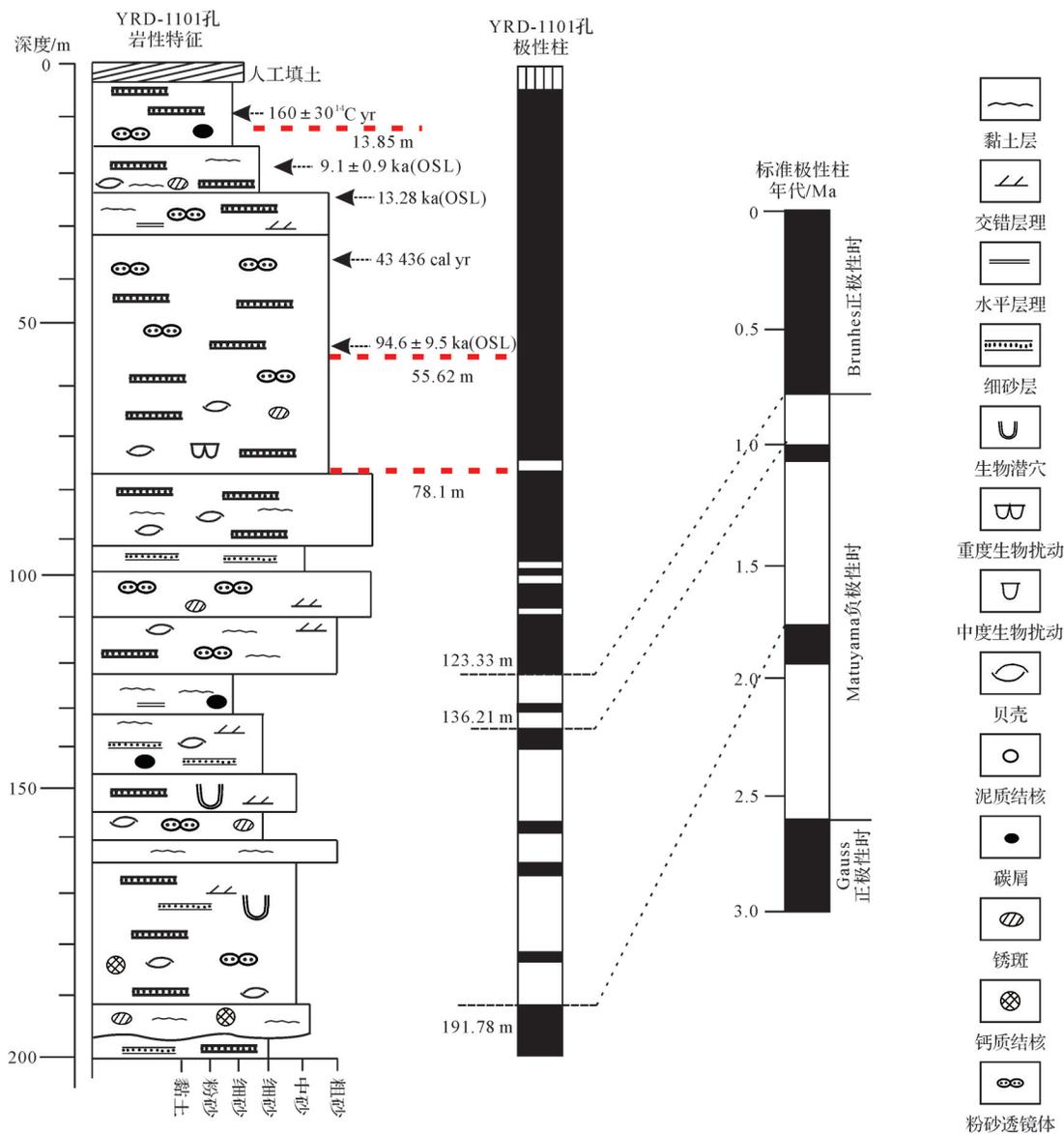


图2 YRD-1101孔岩性特征及磁性地层划分(据孙丽莎等^[17], Liu *et al.*^[18], 岳保静等^[19])

Fig.2 Lithology and paleomagnetic polarity records in core YRD-1101 (after Sun *et al.*^[17], Liu *et al.*^[18], and Yue *et al.*^[19])

3 孢粉组合特征

钻孔中孢粉含量丰富,每件样品统计孢粉颗数52~300粒不等,共鉴定孢粉属种52个科属。其中乔木植物有松属(*Pinus*)、栎属(*Quercus*)、云杉属(*Picea*)、杉科(*Taxodiaceae*)、冷杉属(*Abies*)、桦木属(*Betula*)、胡桃属(*Juglans*)、栗属(*Castanea*)、柳属(*Salix*)、榆属(*Ulmus*)、桤木属(*Alnus*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)、桑科(*Moraceae*)、榛属(*Corylus*)和椴属(*Tilia*)为主,零星可见山毛榉属(*Fagus*)和枫香属(*Liquidambar*)。草本植物花粉以藜科(*Chenopodiaceae*)、十字花科(*Cruciferae*)、禾本科(*Gramineae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、豆科(*Leguminosae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、菊科(*Compositae*)、唇形科(*Labiatae*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)、藜属(*Chenopodium*)、麻黄属(*Ephedra*)、蒿属(*Artemisia*)、紫苑属(*Aster*)、百合科(*Liliaceae*)、葎草属(*Humulus*)为主,以及水生草本植物包括莎草科(*Cyperaceae*)、香蒲属(*Typha*)和眼子菜属(*Potamogeton*)等。蕨类占据一定比例,主要包括凤尾蕨属(*Pteris*)、水龙骨科(*Polypodiaceae*)、膜蕨属(*Hymenophyllum*)、卷柏属(*Selaginella*)、铁线蕨属(*Adiantum*)、里白属(*Hicriopteris*)等。藻类也有出现,主要包括环纹藻(*Concentricystes*)、刺甲藻(*Spiniferitaceae*)、双星藻(*Zygnema*)、刺球藻(*Hystrichosphaera*)、椭球藻(*Baltispheridium*)和盘星藻(*Pediastrum*)等。钻孔上部层位可见少量孢子,如葡萄孢属(*Staphlosporonites*)和桶形孢属等。该钻孔中孢粉组成类型较为丰富,木本植物属种和草本植物属种占据主导,其次为蕨类植物属种,少量藻类植物属种。其中木本植物花粉和草本植物花粉为华北地区常见属种,蕨类和藻类孢子在钻孔上部层位较为丰富。

根据地层岩性及孢粉科属组成,以及孢粉百分含量绘制孢粉图谱,并进行组合带划分,自下而上划分3个孢粉带和6个孢粉亚带(图3)。

I带: *Pinus-Quercus-Artemisia-Chenopodiaceae* 孢粉带

此组合带中木本植物花粉含量(33.1%~51.2%)最高,占据明显优势,其次是草本植物含量21.8%~42.6%,蕨类孢子和藻类比例较低。木本植物中松属和栎属含量最高,松属所占比例略高于栎属,桦属、

桑属、榆属、椴属、鹅耳枥等落叶阔叶类植物花粉较为常见。草本植物属种以盐生的蒿属、藜属为主,可见少量水生植物花粉,包括莎草科、香蒲属和眼子菜属等。零星可见蕨类和孢子,蕨类主要包括凤尾蕨属和水龙骨科。

II带: *Artemisia-Picea-Pteris* 孢粉带

此组合带草本植物花粉占据优势,含量达到45.3%~51.1%,其中蒿属含量最高,占据明显优势。其次是蕨类孢子,特别是喜湿环境的凤尾蕨孢和水龙骨科等含量高。木本植物花粉在本组合中比例较低(12.4%~29.8%),主要包括松属、落叶松和云杉属,其中又以云杉属含量最高,阔叶树种花粉零星出现,如栎属。

III带: *Pinus-Quercus-Artemisia-Chenopodium* 孢粉带

此组合带中花粉颗粒数量明显增加,孢粉浓度为该钻孔最高且变化明显。整体来看,本组合中草本植物和木本植物花粉占据绝对优势,其中木本植物花粉含量与上一组合带持平,草本植物花粉含量存在先增加、后降低、再增加、最后逐渐降低的趋势。其中木本植物主要属种为松属、栎属、榆属、桦属、云杉属、鹅耳枥属、山毛榉属等,蔷薇科等灌木也有一定比例。草本植物主要属种有藜科、藜属、蒿属、禾本科、十字花科、菊科、豆科等。蕨类植物孢子以凤尾蕨和水龙骨科、卷柏属、里白属为主,水生植物以香蒲属、眼子菜属为主,组合上部可见藻类,主要由环纹藻、刺球藻、双星藻和刺甲藻等组成,零星可见希指蕨孢。

由于本阶段孢粉组合特征变化明显,波动较大,故将其细分为6个亚带。

III 1亚带: *Chenopodiaceae-Quercus-Betula-Artemisia*

本阶段木本花粉含量(29.8%~39.4%),草本花粉含量(30.7%~41.1%),蕨类含量(32.3%~45.1%)占据一定优势。木本花粉以松属、云杉属、冷杉属、落叶松属、柳属和苏铁属为主,藻类主要包括刺球藻,盘星藻和双星藻等,藻类在本阶段占据重要位置且波动幅度较大。

III 2亚带: *Pinus-Picea-Artemisia-Typha*

本阶段显著特点是草本花粉(38.4%~63.7%)比例显著下降,针叶植物花粉(7.8%~28.4%)比例升高,木本植物花粉主要有松属、云杉属、冷杉属等,以及

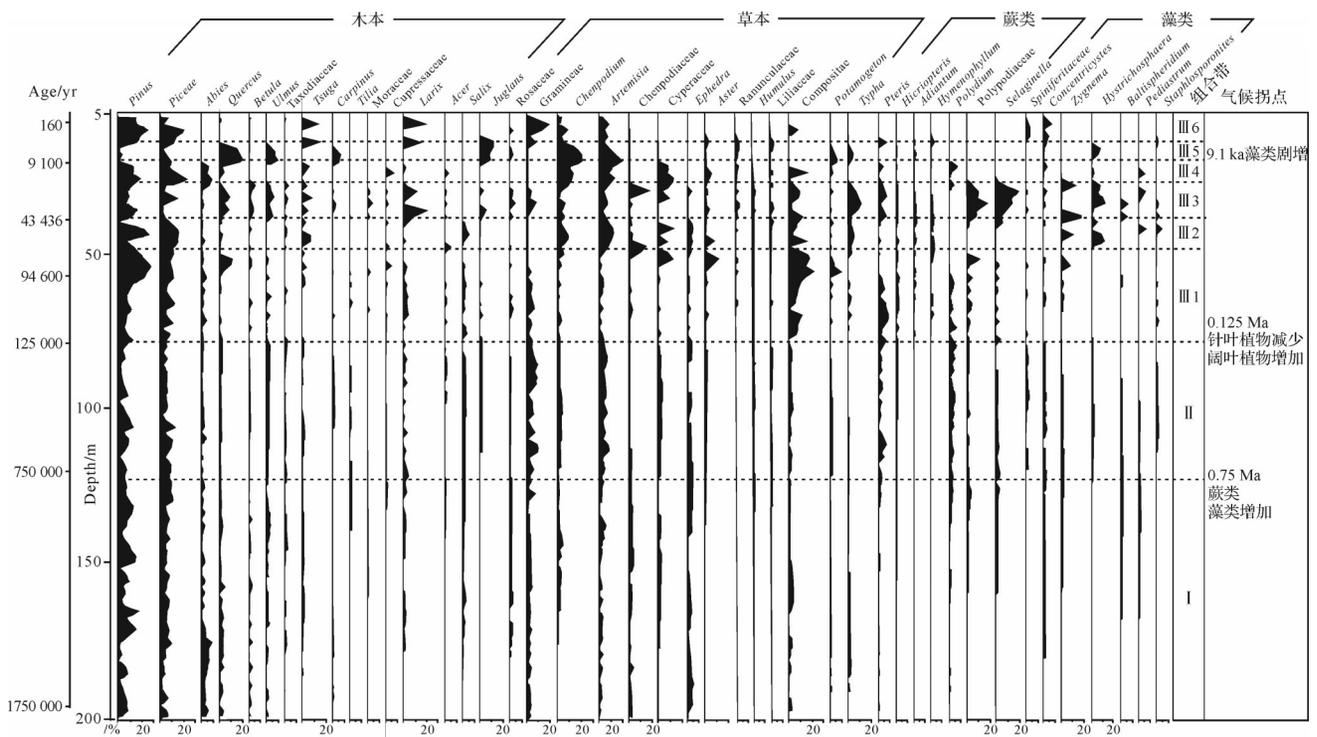


图3 黄河三角洲YRD-1101孔孢粉百分比图

Fig.3 Pollen percentage diagram of core YRD-1101 from the Yellow River Delta

栎属、苏铁属和柳属等喜暖湿类植物。草本植物花粉有禾本科、菊科、莎草科、蒿属、藜属,以及香蒲属,蕨类主要包括水龙骨科、凤尾蕨孢和苔藓类孢子,喜阴蕨类和喜冷针叶植被的比例增高。

III 3 亚带: *Artemisia-Quercus-Gramineae-Polypodiaceae*

本孢粉组合中孢粉颗粒数量迅速增高,达到整个剖面最高值。水生植物花粉比例升高,可见沟鞭藻类;蕨类孢子(12.7%~48.5%)比例较上一组合有大幅提高;草本花粉含量开始下降(32.1%~48.3%),本阶段植物的丰度和分异度达到整个剖面最高值。草本植物花粉以藜属和蒿属为主,其次是禾本科、菊科和十字花科;蕨类分子包括水龙骨科、卷柏属、凤尾蕨孢;水生植物比例升高,有适宜淡水或半咸水环境生存的沟鞭藻出现。

III 4 亚带: *Pinus-Picea-Artemisia-Gramineae*

本阶段孢粉含量达到整个剖面最低值。其中针叶植物花粉比例升高,以松属、云杉属、冷杉属和桦属为主,少量苏铁属和落叶松属。草本植物花粉有蒿属、藜科和莎草科,少量菊科和禾本科。蕨类孢子主要包括水龙骨科、苔藓、凤尾蕨孢。

III 5 亚带: *Quercus-Pinus-Ulmus-Typha*

本组合带孢粉的丰度和分异度较上一组合亚带有所增加,其中草本花粉居于首位(45.1%~62.3%),木本花粉(23.1%~48.6%)比例升高,蕨类孢子(6.5%~19.5%)比例下降。喜暖湿花粉比例升高,如栎属、榆属、山毛榉属、鹅耳枥属和香蒲属等,水生植物花粉比例升高。

III 6 亚带: *Artemisia-Chenopodiaceae-Gramineae-Pinus*

草本花粉在组合中占优势(42.5%~53.1%),木本植物花粉次之(19.2%~41.2%),蕨类含量最低(9.5%~25.5%)。草本植物花粉中蒿属、藜科占绝对优势;其次为莎草属、麻黄属、菊科和禾本科;蕨类孢子包括水龙骨科、凤尾蕨属、卷柏属和里白属;少量藻类出现,如环纹藻、刺甲藻和双星藻,零星可见桶形孢。

4 讨论

4.1 研究区第四纪以来的沉积特征

现代黄河三角洲及周边区域沉积序列完整,地层出露齐全,对第四纪环境演变信息记录较为完整,已经成为研究三角洲形成演化的良好载体。前人围绕着沉积序列、海平面变化及海侵等内容已经做了大量研究工作。

海侵事件研究一直备受关注,是第四纪地质研究的热点内容。中国东部沿海及海岸带地区,都曾受第四纪海侵的影响,海相沉积分布区域从现代海岸向内陆延伸近百千米。众多学者已经达成共识,认为我国东部沿海第四纪地层存在四次海侵,分别是:全新世(第Ⅰ)海侵层、晚更新世(第Ⅱ、Ⅲ)海侵层和中更新世(第Ⅳ)海侵层^[24-27]。

我国第四纪海侵地层中分布范围最广的是全新世海侵层,前人通过钻孔系统分析已清晰识别出三种沉积相(即海陆过渡相、浅海相和海陆过渡相)。海侵层的化石群与各海区现生动物群相似,其中渤海沿岸的第Ⅰ海侵层均不超过近岸浅海区的现代属种,Liu *et al.*^[18]研究发现在YRD-1101孔3.36~13.9 m处大量浅水有孔虫(如*Ammonia*等),佐证了研究区该段沉积处于全新世海侵层。在13.9~19.7 m发现丰富的有孔虫分带,主要包括*A. beccarii vars.*, *E. magellanicum*和*P. tuberculatum*等。另外有介形虫组合带出现,主要包括*N. chenae*, *S. impressa*和*K. bisanensis*等,证实了研究区在本沉积阶段处于海平面升高的海侵时期,与7.0 ka B.P.该地区发生的黄骅海侵相对应。

晚更新世(第Ⅱ、Ⅲ)海侵层中暖水化石群广泛分布,其中最有代表性的是*Pseudorotalia*和*Asterorotalia*。汪品先等^[24]研究发现渤海地区第Ⅱ海侵层中含有*Pseudorotalia*,第Ⅲ海侵层含有*Pseudorotalia*和*Asterorotalia*;Liu *et al.*^[18]研究发现在YRD-1101孔31.43~38.29 m和48.31~55.62 m处可见丰富的*Pseudorotalia*和*Asterorotalia*壳体,并在55 m处获得光释光测年数据,OSL年龄为94.6 ka,属于晚更新世。综上可推断31.43~38.29 m和48.31~55.62 m分别对应晚更新世第Ⅱ、Ⅲ海侵层。

中更新世(第Ⅳ)海侵层通常只含海陆过渡相化石群,是四次海侵中最弱的一次。海相性低、海侵层薄、分布范围较小是此海侵层的特点。在YRD-1101孔78.1~200.3 m段海侵沉积层偏薄,以黏土质粉砂、粉砂条带,以及粉砂质细砂、细砂和中砂为主,有零星贝壳碎屑,这与我国南海以北地区第Ⅳ海侵层沉积特征类似^[24-27]。因此推测在78.1~200.3 m段存在中更新世海侵层。

第四纪以来我国东部的四次海侵规模由更新世到全新世呈现出逐渐增强增大的趋势。更新世期间海侵弱、晚更新世加强的趋势具有区域性特点,尤其

是与世界其他地区的海侵趋势并不相同,这可能与中国大陆地区新生代以来的构造与地貌状况有关^[28-34]。中国大陆第四纪地貌地势处于下降阶段,随着地势持续走低,受海侵影响的范围进一步加大^[35-43]。

4.2 孢粉组合特征与环境变化

华北地区及黄河三角洲的孢粉学研究表明,第四纪三角洲地区植被变化显著,植被反映了气候变化具有阶段性波动的特点,植被组成面貌与现代植被面貌相似。华北及黄河三角洲地区属于暖温带落叶阔叶林和灌丛草原亚带。山区常见栎林、油松和灌丛平原区,松树多生长于沿海湿润地区,另外还有栎树、桑树、桦木、杨树、槭树、椴树、鹅耳枥和山毛榉等落叶阔叶树,沿海盐碱滩地以藜和蒿为主,其他草本植物以禾本科和菊科常见,以及酸枣、柃木和荆条等,针叶林中侧柏和油松占优势^[18-21]。在YRD-1101钻孔中,木本植物花粉和草本植物花粉占有重要地位。其中木本植物松属花粉对温度反映敏感,早生草本植物对湿度变化反应灵敏。孙湘君等^[22]研究发现在7月份(平均温度20℃~30℃),年平均降水量400~1 000 mm的气候条件下,松属花粉含量随温度升高而增加。早生草本植物藜科、蒿属和菊科对湿度变化反应较为灵敏,其含量高低变化与湿度变化呈正比。藻类和蕨类则较直观指示水体和海平面的高低变化,即水体增加或海平面升高,藻类蕨类随之增加^[4]。因此,本文以松属、落叶栎属为主要参考指标,并结合其他常绿阔叶和落叶阔叶木本植物,以及草本植物和蕨类藻类含量变化来推测研究区的气温波动情况。

根据古地磁获得的年代学格架,结合深海氧同位素阶段,通过较高分辨率孢粉研究对研究区植被、沉积环境、气候和海平面变化进行探讨(图4)。

孢粉带Ⅰ(123.3~200.3 m,地层年龄为0.75~1.75 Ma),综合古地磁学结果和沉积速率,推测钻孔底部属于早更新世。木本植物花粉持续下降,松属比例有所上升,云杉属、榆属、冷杉属、桦属出现波动;早生植物的典型代表藜科、禾本科、麻黄属、菊科等植物比例升高,而莎草科、麻黄属、蒿属、藜属和紫苑属等草本植物构成了林下灌丛和草甸的主体;蕨类和藻类比例持续降低。这一组合特征反映了受水动力影响范围减小,沉积环境由滨海相向陆相沉积过渡;气温逐渐降低并伴随多次气候波动;植被面貌

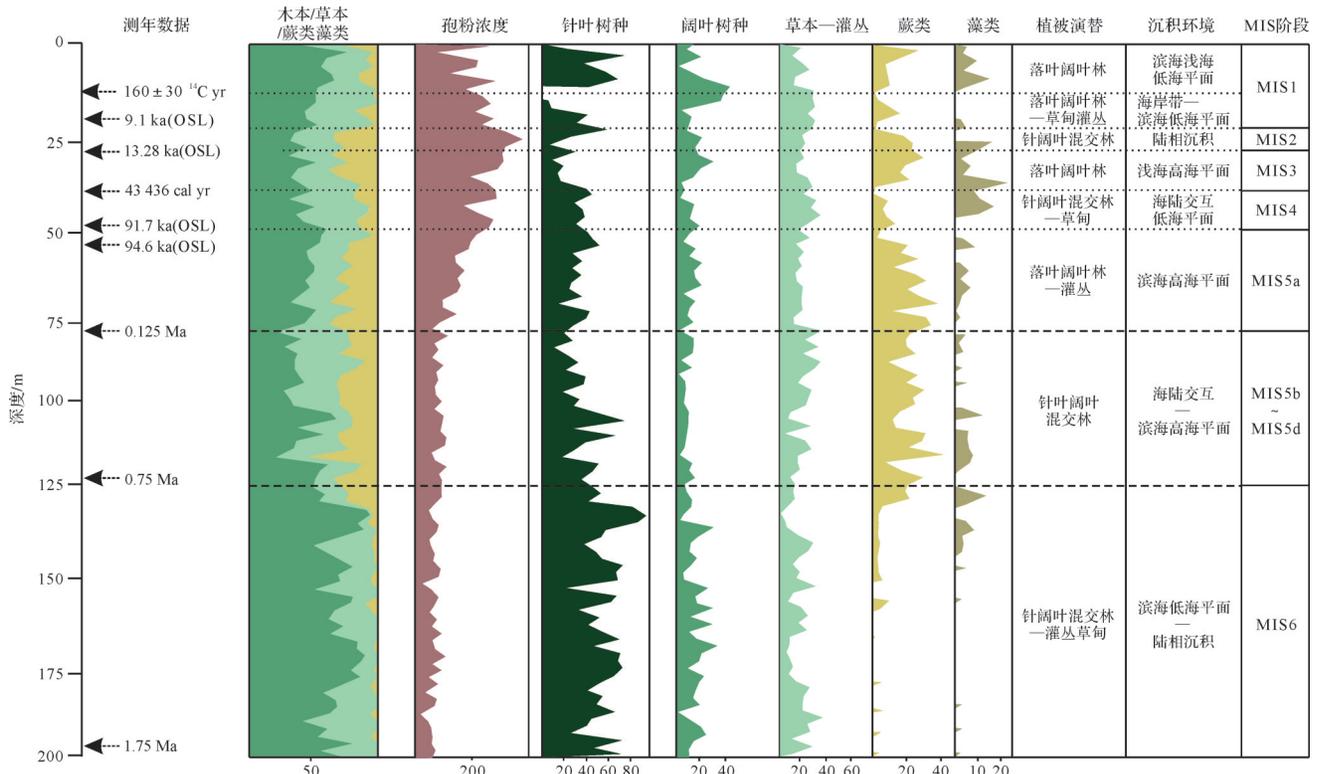


图4 黄河三角洲 YRD-1101 钻孔浓度、孢粉组成百分含量综合图

Fig.4 Integrated column of pollen concentrations and percentages from core YRD-1101

为温带针叶阔叶混交林—灌丛草甸复合景观。本阶段岩性以灰绿、暗灰色黏土质粉砂与灰黄色粉砂至中砂互层为主,少量粗砂,偶见砾石,可见水平层理及交错层理,锈斑和钙质结核常见,可见少量生物潜穴^[17],具有河流沉积的典型特征。根据 Liu *et al.*^[18]研究发现本组合带中未发现孔虫化石分布,也佐证了逐渐向陆相沉积过渡的沉积特征。

孢粉带 II (78.1~123.3 m),根据古地磁学研究确定年龄为0.125~0.75 Ma,属于中更新世。孢粉含量较孢粉带 I 有所上升,木本植物占优势但呈现出下降趋势,草本植物花粉以早生蒿属、藜属和菊科为主,且比例逐渐减少。其次是蕨类孢子,主要包括凤尾蕨、里白属、水龙骨科等。蕨类和藻类含量都存在明显波动,指示了水体环境的高低变化,这与孢粉带 I 有明显不同。本阶段耐寒冷类植物云杉和落叶松等针叶林逐渐减少,阔叶树种花粉含量逐渐升高,喜暖湿蕨类藻类出现了先增加后减少的特点,气温升高且湿度增加,植被面貌为阔叶树种占据优势的温带针叶阔叶混交林。本阶段有孔虫化石^[18]也有少量发现,并呈间歇性分布特点,主要属种包括:滨海低盐环境下的特征种 *Ammonia beccarii* vars., 以及

Elphidium magellanicum, *Protelphidium tuberculatum*, *Cribrononion subincertum*, *Elphidium advenum* 等。本阶段岩心的岩性以暗灰色黏土质粉砂与灰黄色细砂至中砂互层为主,少量粗砂,偶见碳质斑点,可见水平层理及交错层理,锈斑和钙质结核可见,偶见生物潜穴,夹薄层滨海海沉积^[17],为滨海相向海陆交互过渡的沉积环境,本阶段气温开始升高,海平面也随之升高,存在明显的气候变化拐点(0.75 Ma)。

孢粉带 III (3.36~78.1 m,地层年龄为0.125 Ma-160 ¹⁴C yr)处于晚更新世—全新世时期,孢粉组合面貌变化较大且波动明显。与孢粉带 II 相比,孢粉带 III 阔叶植物和藻类增加明显,针叶植物含量下降,气温升高,海平面也随之升高,古气候存在拐点(0.125 Ma)。其中 III 1 亚带(48.4~78.1 m,地层年龄为91.7 ka OSL-0.125 Ma):根据沉积速率推测本组合带底部78.1 m处古地磁年龄约为0.75 Ma,植物丰度和分异度为整个剖面最高,水生植物和藻类占据重要位置且存在较大波动,受水动力作用变化影响明显,可能与潮汐作用和海面升降有关系。测年数据与 MIS5a 对应,推测该阶段为水生环境,属于滨海高海平面沉积环境;此阶段气候温暖湿润,植被面貌为

温带针叶落叶混交林及林下灌丛景观。Ⅲ2亚带(38.3~48.4 m, 地层年龄为 43 436 cal yr-91.7 ka OSL): 喜阴蕨类和喜冷针叶植被比例增高, 是草地蕨类为主的植物群, 提示了气温逐渐转冷变干, 属于海陆交互低海平面的沉积环境, 植被面貌为温带针叶落叶混交林及草甸复合景观。Ⅲ3亚带(26.9~38.3 m, 地层年龄为 17.5 ka OSL-43 436 cal yr): 水生植物比例升高, 适宜淡水或半咸水环境生存的沟鞭藻出现, 推测该阶段为水生环境阶段, 为浅海高海平面的沉积环境; 气候具有温暖湿润的特点, 与 MIS3 部分对应; 植被面貌为温带落叶阔叶混交林。Ⅲ4亚带(19.7~26.9 m, 地层年龄为 9.1~17.5 ka OSL): 孢粉含量为整个剖面中最低。针叶植物花粉比例升高, 草本花粉主要为适宜盐碱环境的蒿和藜, 孢粉组合反映了温度降低、湿度降低的气候特点。本亚带与 MIS2 陆相沉积阶段相对应, 且与新仙女木气候冷干阶段植被面貌相吻合, 推测本阶段可能处于低温干燥的环境, 植被面貌为温带针叶阔叶混交林^[37-40]。Ⅲ5亚带(13.9~19.7 m, 地层年龄为 160 ¹⁴C yr -9.1 ka OSL) 孢粉的丰度和分异度较Ⅲ4亚带有所提升, 其中草本花粉居于首位, 木本花粉比例升高, 蕨类孢子比例下降。喜暖湿花粉比例增加, 特别是水生植物花粉比例上升显著, 指示了水体逐渐升高、温暖湿润的气候特点, 为海岸带—滨海低海平面的沉积环境, 这可能与全新世大暖期相对应, 有受季风影响的常绿落叶阔叶林及草甸灌丛出现。本阶段的植被与气温升高、海平面上升有响应, 古气候存在明显的变化拐点(9.1 ka)。Ⅲ6亚带(3.36~13.9 m, 地层年龄为现代-160 ¹⁴C yr): 草本花粉在组合中占优势, 木本植物花粉次之, 蕨类含量较低, 藻类分子含量较上一组合增加明显。针叶树种增加明显, 草本花粉中以盐生的蒿和藜占绝对优势, 藻类含量高。以上特点指示了气温开始降低且受水动力影响作用较为明显, 推测研究区存在湖泊等封闭或半封闭水体, 为滨海浅海沉积环境, 气候具有凉爽湿润的特点, 植被面貌为东亚季风影响下的温带落叶阔叶林。

针叶阔叶混交林在第四纪由于受冰期—间冰期全球性变化影响, 气候冷暖干湿周期性波动频繁, 存在 3 次大的气候变化拐点, 分别发生在 0.75 Ma, 0.125 Ma 和 9.1 ka, 每个转折点气候波动明显。其中 0.75 Ma 前后具有温暖湿润滨海高海平面向低海平面变化的特点; 0.125 Ma 前后沉积环境具有海陆交互相

向滨海高海平面转变的特点; 9.1 ka 前后出现陆相沉积转为滨海高海平面的特点。与沉积相对应的植被面貌发生了较大变化, 钻孔植被面貌自下而上表现为针叶阔叶混交林—灌丛草甸—针叶阔叶混交林—落叶阔叶林—灌丛—针阔叶混交林—草甸—落叶阔叶混交林—针阔叶混交林—落叶阔叶混交林—灌丛草甸—针叶落叶阔叶混交林及林下灌丛。更新世期间, 特别是早更新世阶段处于低温干旱干燥时期; 而晚更新世以来气候由于干旱转为湿润, 可能受地形影响, 海洋性气候和季风作用加剧, 温度升高、湿度增加; 全新世出现了温度最高、最湿润的阶段, 草本植物多以水生植物和藻类为主。

5 结论

(1) 根据孢粉组合带特征和孢粉属种组成, 对钻孔的植被面貌进行梳理, 钻孔植被面貌自下而上表现为针叶阔叶混交林—灌丛草甸—针叶阔叶混交林—落叶阔叶林—灌丛—针阔叶混交林—草甸—落叶阔叶混交林—针阔叶混交林—落叶阔叶混交林—灌丛草甸—针叶落叶阔叶混交林及林下灌丛。这一植被景观反映了华北地区受海洋性气候和季风共同影响的温带植物面貌。

(2) 与植被面貌相对应的沉积环境自更新世—全新世表现为: 陆相沉积—滨海低海平面—滨海高海平面—海陆交互沉积—滨海高海平面沉积—海陆交互低海平面沉积—浅海高海平面沉积—陆相沉积—滨海高海平面沉积—滨海低海平面沉积。

(3) YRD-1101 钻孔的沉积特征变化显著, 波分组合波动频繁。第四纪期间存在 3 次大的气候转折点, 分别发生在 0.75 Ma, 0.125 Ma 和 9.1 ka。整体气候表现为温度逐渐上升, 且湿度也同步增高的特点。特别是晚更新世以来的气候波动较为明显, 其中 MIS5 和 MIS3 阶段属于气候变得温暖湿润, 处于海平面升高的时期; MIS2 阶段为陆相沉积时期, 海平面下降, 气候具有凉爽干燥的特点, 以耐干旱的草本植物和灌丛植被的扩张为主要特征, 滨水和水生植被比例下降; 全新世阶段气候回暖, 木本植物再次扩张, 蕨类和藻类比例持续升高, 指示了海平面上升的过程。这一特点与我国第四纪海侵地层分布及范围一致。

致谢 感谢参加黄河三角洲 YRD-1101 钻孔野外工作的全体人员, 以及参与室内样品分析测试的同事们。感谢审稿专家和编辑提出的宝贵意见。

参考文献(References)

- [1] 汪品先. 上下五千年—现代自然环境宏观格局的由来[J]. 科学, 1997, 49(3): 18-22. [Wang Pinxian. The last fifty millions years- on origin of the modern natural macro-environmental pattern[J]. Science, 1997, 49(3): 18-22.]
- [2] 汪品先. 亚洲形变与全球变冷—探索气候与构造的关系[J]. 第四纪研究, 1998, 18(3): 213-221. [Wang Pinxian. Deformation of Asia and global cooling: Searching links between climate and tectonics[J]. Quaternary Sciences, 1998, 18(3): 213-221.]
- [3] 郑洪波. IODP中的海陆对比和海陆相互作用[J]. 地球科学进展, 2003, 18(5): 722-729. [Zheng Hongbo. Land-ocean comparison and interactions in IODP[J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(5): 722-729.]
- [4] 陈金霞, 石学法, 乔淑卿. 渤海地区全新世孢粉序列及古环境演化[J]. 海洋学报, 2012, 34(3): 99-105. [Chen Jinxia, Shi Xuefa, Qiao Shuqing. Holocene palynological sequences and palaeoenvironmental changes in the Bohai Sea area[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(3): 99-105.]
- [5] 赵广明, 叶青, 叶思源, 等. 黄河三角洲北部全新世地层及古环境演变[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(5): 25-32. [Zhao Guangming, Ye Qing, Ye Siyuan, et al. Holocene stratigraphy and palaeoenvironmental evolution of the northern Yellow River Delta[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2014, 34(5): 25-32.]
- [6] Saito Y, Yang Z S, Hori K, et al. The Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River) deltas: A review on their characteristics, evolution and sediment discharge during the Holocene[J]. Geomorphology, 2001, 41(2/3): 219-231.
- [7] 杨子庚, 李幼军, 丁秋玲, 等. 试论河北平原东部第四纪地质几个基本问题[J]. 地质学报, 1979, 53(4): 263-279. [Yang Zigeng, Li Youjun, Ding Qiuling, et al. Some fundamental problems of Quaternary geology of eastern Hebei Plain[J]. Acta Geologica Sinica, 1979, 53(4): 263-279.]
- [8] 王强, 袁桂邦, 张熟, 等. 渤海湾西岸贝壳堤堆积与海陆相互作用[J]. 第四纪研究, 2007, 27(5): 775-786. [Wang Qiang, Yuan Guibang, Zhang Shu, et al. Shelly ridge accumulation and sea-land interaction on the west coast of the Bohai Bay[J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(5): 775-786.]
- [9] 许清海, 李润兰, 朱峰, 等. 华北平原冲积物孢粉沉积相研究[J]. 古地理学报, 2001, 3(2): 55-63. [Xu Qinghai, Li Runlan, Zhu Feng, et al. Pollen sedimentary facies of fluvial sediments on North China Plain[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(2): 55-63.]
- [10] 赵松龄, 杨光复, 苍树溪, 等. 关于渤海湾西岸海相地层与海岸线问题[J]. 海洋与湖沼, 1978, 9(1): 15-25. [Zhao Songling, Yang Guangfu, Cang Shuxi, et al. On the marine stratigraphy and coastlines of the western coast of the gulf of Bohai[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1978, 9(1): 15-25.]
- [11] 姚政权, 郭正堂, 陈宇坤, 等. 渤海湾海陆交互相沉积的磁性地层学[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(1): 9-15. [Yao Zhengquan, Guo Zhengtang, Chen Yukun, et al. Magnetostratigraphy of marine-terrestrial facies deposits in Bohai Bay[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(1): 9-15.]
- [12] 范淑贤, 刘海坤, 徐建明, 等. 3.50 Ma BP以来河北衡水地区古植被与环境演化[J]. 现代地质, 2009, 23(1): 75-81. [Fan Shuxian, Liu Haikun, Xu Jianming, et al. Palaeovegetation and environmental evolution in Hengshui district of Hebei province since 3.50 Ma BP[J]. Geoscience, 2009, 23(1): 75-81.]
- [13] 施林峰, 翟子梅, 王强, 等. 从天津CQJ4孔探讨中国东部海侵层的年代问题[J]. 地质论评, 2009, 55(3): 375-384. [Shi Linfeng, Zhai Zimei, Wang Qiang, et al. Geochronological study on transgression layers of the CQJ4 Borehole at Dagang area in Tianjin, China[J]. Geological Review, 2009, 55(3): 375-384.]
- [14] 王强, 李凤林. 渤海湾西岸第四纪海陆变迁[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1983, 3(4): 83-89. [Wang Qiang, Li Fenglin. The changes of marine-continental conditions in the west coast of the Bohai Gulf during Quaternary[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1983, 3(4): 83-89.]
- [15] 成海燕, 姜胜辉, 李安龙, 等. 黄河三角洲地区末次盛冰期以来浅地层划分与海平面变化的响应[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(1): 31-36. [Cheng Haiyan, Jiang Shenghui, Li Anlong, et al. Analysis of the shallow stratigraphic division and sea-level variation in Yellow River Delta since the Last Glacial maximum[J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(1): 31-36.]
- [16] 周艳芝, 张云吉. 山东半岛北部主要地质灾害形成机理与防治对策[J]. 海洋湖沼通报, 2007(增刊1): 60-68. [Zhou Yanzhi, Zhang Yunji. The mechanism and control measures of the main geological hazards in northern part of Shandong Peninsula[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2007(Suppl. 1): 60-68.]
- [17] 孙丽莎, 刘健, 仇建东, 等. 现代黄河三角洲北岸YRD-1101孔岩芯磁性地层学[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(4): 31-40. [Sun Lisha, Liu Jian, Qiu Jiandong, et al. Studies on magnetostratigraphy of core YRD-1101 sediments on the north shore of modern Yellow River Delta[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2014, 34(4): 31-40.]
- [18] Liu J, Wang H, Wang F F, et al. Sedimentary evolution during the last ~ 1.9 Ma near the western margin of the modern Bohai Sea[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2016, 451: 84-96.
- [19] 岳保静, 刘金庆, 刘健, 等. 渤海西缘YRD-1101孔晚更新世以来沉积物粒度特征及其环境变迁[J]. 中国地质, 2020, 47(3): 853-867. [Yue Baojing, Liu Jinqing, Liu Jian, et al. Grain size distribution of sediment of core YRD-1101 in the western margin of the modern Bohai Sea since the latest Pleistocene and its environmental change[J]. Geology in China, 2020, 47(3): 853-867.]

- [20] 安乐生,周葆华,赵全升,等. 黄河三角洲植被空间分布特征及其环境解释[J]. 生态学报,2017,37(20):6809-6817. [An Lesheng, Zhou Baohua, Zhao Quansheng, et al. Spatial distribution of vegetation and environmental interpretation in the Yellow River Delta [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(20): 6809-6817.]
- [21] 孙兰惠,牛铮,黄妮,等. 黄河三角洲地区植被变化及其对气温的响应特征[J]. 地理信息世界,2020,27(3):85-90. [Sun Lanhui, Niu Zheng, Huang Ni, et al. Characteristics vegetation changes and responses to air temperature in the Yellow River Delta [J]. *Geomatics World*, 2020, 27(3): 85-90.]
- [22] 孙湘君,王璋瑜,宋长青. 中国北方部分科属花粉—气候响应面分析[J]. 中国科学(D辑):地球科学,1996,26(5):431-436. [Sun Xiangjun, Wang Fengyu, Song Changqing. Pollen-climate response surfaces of selected taxa from northern China [J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 1996, 26(5): 431-436.]
- [23] Moore P D, Webb J A, Collinson M E. Pollen analysis [M]. 2nd ed. London: Blackwell Scientific, 1991.
- [24] 汪品先,闵秋宝,卞云华,等. 我国东部第四纪海侵地层的初步研究[J]. 地质学报,1981,55(1):1-13. [Wang Pinxian, Min Qiubao, Bian Yunhua, et al. Strata of Quaternary transgressions in East China: A preliminary study [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1981, 55(1): 1-13.]
- [25] 王靖泰,汪品先. 中国东部晚更新世以来海面升降与气候变化的关系[J]. 地理学报,1980,35(4):299-312. [Wang Jingtai, Wang Pinxian. Relationship between sea-level changes and climatic fluctuations in east China since Late Pleistocene [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1980, 35(4): 299-312.]
- [26] 王开发. 渤海沉积孢粉藻类组合与古环境[M]. 北京:地质出版社,1993. [Wang Kaifa. Spore-pollen and algal assemblages in the sediments of the Bohai Sea and palaeoenvironments [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.]
- [27] Saito Y, Wei H L, Zhou Y Q, et al. Delta progradation and chenier formation in the Huanghe (Yellow River) Delta, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2000, 18(4): 489-497.
- [28] 李杰,李日辉,杨士雄,等. 渤海西部海域晚更新世以来的孢粉组合及古环境变化[J]. 海洋地质与第四纪地质,2018,38(2):115-128. [Li Jie, Li Rihui, Yang Shixiong, et al. Pollen spore assemblages and induced palaeoenvironmental changes in the western Bohai Sea since Late Pleistocene [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(2): 115-128.]
- [29] 王强,李从先. 中国东部沿海平原第四系层序类型[J]. 海洋地质与第四纪地质,2009,29(4):39-51. [Wang Qiang, Li Congxian. The type of Quaternary sequence in the East China coastal plain [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29(4): 39-51.]
- [30] 王强,张玉发,袁桂邦,等. MIS 3阶段以来河北黄骅北部地区海侵与气候期对比[J]. 第四纪研究,2008,28(1):79-95. [Wang Qiang, Zhang Yufa, Yuan Guibang, et al. Since MIS 3 stage the correlation between transgression and climatic changes in the north Huanghua area, Hebei [J]. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(1): 79-95.]
- [31] 李小艳,赵泉鸿,姚政权,等. 渤海百万年以来的海侵记录: BH08孔有孔虫和介形类证据[J]. 海洋地质与第四纪地质,2015,35(6):93-108. [Li Xiaoyan, Zhao Quanhong, Yao Zhengquan, et al. Transgressive records of last million years in the Bohai Sea, China: Evidence from foraminifera and ostracoda of core BH08 [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2015, 35(6): 93-108.]
- [32] 阎玉忠,王宏,李凤林,等. 渤海湾西岸BQ1孔揭示的沉积环境与海面波动[J]. 地质通报,2006,25(3):357-382. [Yan Yuzhong, Wang Hong, Li Fenglin, et al. Sedimentary environment and sea-level fluctuations revealed by borehole BQ1 on the west coast of the Bohai Bay, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(3): 357-382.]
- [33] 赵长荣, Hus J, 阎玉忠,等. 渤海湾西岸湾顶晚更新世:全新世年代地层序列与地磁极漂移[J]. 地质调查与研究,2003,26(3):183-192. [Zhao Changrong, Hus J, Yan Yuzhong, et al. Late Pleistocene-Holocene chronostratigraphic sequence and the geomagnetic polar excursion on the west coast of Bohai Bay [J]. *Geological Survey and Research*, 2003, 26(3): 183-192.]
- [34] 王靖泰,郭蓄民,许世远,等. 全新世长江三角洲的发育[J]. 地质学报,1981(1):67-81. [Wang Jingtai, Guo Xumin, Xu Shiyuan, et al. Evolution of the Holocene Changjiang Delta [J]. *Acta Geological Sinica*, 1981(1): 67-81.]
- [35] Zachos J, Pagani M, Sloan L, et al. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present [J]. *Science*, 2001, 292(5517): 686-693.
- [36] 刘恩峰,张祖陆,沈吉. 莱州湾南岸滨海平原晚更新世以来古环境演变的孢粉记录[J]. 古地理学报,2004,6(1):78-84. [Liu Enfeng, Zhang Zulu, Shen Ji. Spore-pollen records of environmental change on south coast plain of Laizhou Bay since the Late Pleistocene [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(1): 78-84.]
- [37] 孟广兰,王少青. 渤海B_{c-1}孔第四纪孢粉组合及其古气候[J]. 海洋与湖沼,1987,18(3):253-264. [Meng Guanglan, Wang Shaoqing. Studies on the Quaternary sporo-pollen assemblage from the Bohai Sea drilling core B_{c-1} and its paleoclimate [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1987, 18(3): 253-264.]
- [38] 王艳. 渤海湾曹妃甸晚更新世末期以来古植被与古气候演变序列[J]. 海洋地质与第四纪地质,2000,20(2):87-92. [Wang Yan. Evolution sequences of palaeovegetation & palaeoclimate in the Caofeidian area since the last stage of the Late Pleistocene Epoch [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, 20(2): 87-92.]
- [39] 孙廷智,李波. 渤海西部近海全新世孢粉组合及古气候、古植被的演变[J]. 海洋通报,1992,11(1):32-40. [Sun Tingzhi, Li Bo. Palynological assemblages and evolution of paleoclimate and palaeovegetation in Holocene in inshore area of western Bo-

- hai Sea[J]. *Marine Science Bulletin*, 1992, 11(1): 32-40.]
- [40] Liu J, Saito Y, Wang H, et al. Sedimentary evolution of the Holocene subaqueous clinoform off the Shandong Peninsula in the Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 2007, 236 (3/4): 165-187.
- [41] 范淑贤, 刘海坤, 赵华, 等. 3.2 Ma BP以来河北黄骅地区孢粉地层学与古气候变迁[J]. *微体古生物学报*, 2009, 26(2): 173-180. [Fan Shuxian, Liu Haikun, Zhao Hua, et al. Palynology stratigraphy and palaeoclimate evolution in Huanghua district of Hebei province since 3.2 Ma BP[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2009, 26(2): 173-180.]
- [42] 许清海, 吴忱, 王子惠, 等. 25000年以来渤海湾西岸古环境探讨[J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1993, 17(1): 20-32. [Xu Qinghai, Wu Chen, Wang Zihui, et al. Approach to Palaeoenvironment in the west coast of Bohai Bay since 25000a. B. P. [J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17(1): 20-32.]
- [43] 胥勤勉, 袁桂邦, 张金起, 等. 渤海湾沿岸晚第四纪地层划分及地质意义[J]. *地质学报*, 2011, 85(8): 1352-1367. [Xu Qinqian, Yuan Guibang, Zhang Jinqi, et al. Stratigraphic division of the Late Quaternary strata along the coast of Bohai Bay and its geology significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85 (8): 1352-1367.]

Pollen Assemblages and Induced Palaeoenvironmental Changes in the Yellow River Delta Since 1.9 Ma

LU JingFang^{1,2}, LIU Jian¹, HU Gang^{1,2}, HUANG Wei^{1,2}, WANG Hong¹, ZHANG DaoLai¹

1. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao, Shandong 266071, China

2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology(Qingdao), Qingdao, Shandong 266071, China

Abstract: The study of core YRD-1101 from the Yellow River Delta on sediment lithology, multi-method dating, and high resolution spore-pollen data suggests that the changes in pollen assemblage since 1.9 Ma have resulted from the joint effects of vegetation, climate, and sea-level changes, which show a regular pattern of variation, including deciduous coniferous forest shrub meadow, deciduous coniferous broad-leaved mixed forest, deciduous broad-leaved forest, evergreen broad-leaved deciduous forest, coniferous broad-leaved mixed forest, deciduous broad-leaved mixed forest, coniferous and deciduous mixed forest and shrub meadow, deciduous broad-leaved mixed forest. and under forest shrub. There are three major climate turning points during the Quaternary period, which occurred at 0.75 Ma, 0.125 Ma, and 9.1 ka, respectively. The points indicate a frequent alternation of warm-wet and cold (cool) -dry climatic conditions, in addition to significant sea level fluctuation. In general, the climate shows a rising trend for temperature and humidity, especially since the Late Pleistocene. The continental sedimentary stage turned to a cool and dry climate, and the grassland shrub vegetation expanded while the sea level decreased during the MIS2 stage. The palaeotemperature rose and the woody plants expanded again while the proportion of ferns and algae continued to rise, along with the sea level rise in Holocene, which are similar with the distribution and range of Quaternary transgressive strata in China.

Key words: Quaternary; Yellow River Delta; pollen; palaeoenvironment changes