

长江三角洲地区全新世以来海面变化 与古洪水发生关系探讨*

张 强 姜 彤

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提 要 通过对长江三角洲地区埋藏古树、泥炭、以及海相贝壳测年资料以及地方志、历史文献当中关于研究区洪灾事件记录的搜集、整理, 研究结果表明, 由于长江三角洲地区地势低平这一地貌特点, 使得海面变化对于研究区洪灾的发生有着重要的影响. 在长江中下游地区, 海面的上升是导致冰后期长江河谷泥沙加积的主要原因, 随着海面的上升和河床的抬高, 长江中下游的水位也随之上升, 从而导致长江洪水期排泄不畅, 加重了洪灾的影响, 加上长江三角洲地势低平, 使海面变化成为长江三角洲地区洪灾发生的一个重要影响因子. 同时, 海面上升对长江水流的顶托作用也是加剧洪灾危害的一个重要原因. 本文对于未来研究区洪水发生的预测, 加强海岸带地区自然灾害的预防工作, 减少生命财产的损失, 具有一定的理论与实践意义.

关键词 长江三角洲 古洪水研究 全新世 海面变化

分类号 P532

当前, 全球气候变暖以及由此引起的全球性环境问题已经受到科学界、社会公众以及各国政府的普遍关注. 未来一个世纪人类活动很可能会导致全球气候的进一步变化, 据 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 报告, 在过去的一个世纪里, 由于人类活动的影响, 地球表面升高了 0.6°C , 至 2100 年, 地球表面预计可增加 $0.6\text{--}1^{\circ}\text{C}$. 国内外学者对气候变化, 特别是由于人类活动导致大气中温室气体含量增加引起的全球变暖对洪水事件的影响较为关注, 并利用各种气候、降水模型、径流模型等^[1-2] 研究在全球气候变暖的情况下洪水事件发生的特点. 有的学者通过对过去气候变化对河流流域水文状况影响的研究, 发现在早、中全新世的温暖时期洪水发生的规模较大, 而在中、晚全新世较为凉爽的时期, 洪水发生的规模较小^[3], 认为可能是由于气候变暖对气团以及暴雨的位置和移动路径产生了影响的原因^[4-5].

长江中下游地区为低于洪水位的 $12.6 \times 10^4 \text{km}^2$ 洪泛平原地区, 20 世纪 90 年代多次发生洪涝灾害, 表现出与世界大河流域洪水曾经出现过的现象“小水大灾”, 这种现象的发生除了人类影响以及气候变化等因素之外, 由全球变暖引起的海面上升对长江水流的顶托作用, 从而使洪水排泄不畅以及风暴潮的频发等也是长江中下游地区的重要致洪因子. 本文旨在探讨长江中下游地区, 特别是长江三角洲地区海面变化对洪水事件发生的影响, 为今

*中国科学院知识创新工程重要方向项目 (长江中下游洪水孕灾环境变化、致灾机理与减灾对策, KZCX3-SW-331) 和国家自然科学基金项目 (历史时期长江中下游平原早涝序列时空格局与风险评价 No. 40271112) 联合资助.
2003-07-08 收稿; 2003-11-18 收修改稿. 张强, 男, 1974 年生, 博士, email: zhangq@niglas.ac.cn.

后该区洪水的研究以及海岸带灾害的预防提供借鉴.

1 材料与方法

在长江三角洲地区,埋藏古树主要见于太湖平原诸湖泊周围以及宁镇、宜溧山地河谷中,埋深约 0.6–8m,这些埋藏古树多与砂砾或淤泥呈混杂堆积,大多数未经碳化并保存完整.石英砂表面扫描电镜观察^[6]结果表明,在太湖平原诸湖泊周围的埋藏古树是湖泊扩张被原地掩埋形成的,而分布在宁镇、宜溧山地河谷中的埋藏古树则是经短距离急促的山地洪水搬运又经后期的再沉积而形成的.

降水、古湖泊的分布、废弃以及由大规模的陆地洪水所引起的地表水域的扩张等是造成泥炭大量堆积的重要原因^[7],泥炭堆积旺盛期与气候适宜期以及由高湖面、陆地洪水引起的地表水面积扩张的时期是基本一致的.

贝壳堤是在河流作用以及海潮等共同作用的产物,一般沉积在高潮位,其沉积特征是贝壳与粗砂混合沉积,是海浪从潮间带冲向高潮位位置的^[8].贝壳砂堤以及埋藏的海相贝壳层,作为第四纪海岸带地貌的一部分已成为恢复古海岸线位置以及过去海平面变化的一种借用指标^[9–10].

本文对研究区搜集的 96 个泥炭点、55 个埋藏古树以及 50 个埋藏贝壳的测年数据作了分析,以了解长江三角洲地区全新世以来海面变化对古洪水发生的影响.对于历史时期(主要是指 1500aBP 以来)研究区海面变化与洪水关系的研究,所用数据主要来自对文史资料的整理,如《泰州府志》、《东台县志》、《如皋县志》、《海安县志》等,以及对陈高庸等^[12]编写的《中国历代天灾人祸表》中有关研究区的自然灾害的记载作了统计与摘录,将这些史料中记载的有关研究地区对水灾及风暴潮等灾害情况作了整理与分析,并与同期中国东部海面变化进行了对比分析.

2 长江三角洲地区全新世以来洪水发生状况与海面变化的关系

图 1 中 C 图长江三角洲地区全新世以来海面波动变化是由泥炭和贝壳堤的海拔高度获得^[13].泥炭的形成与气候变化有着密切的联系,北欧地区的许多学者研究表明,在海洋气候条件下,泥炭的堆积与大气降水以及地下水位的高低有关^[14].同时,前人对该区泥炭层中孢粉的分析结果^[15]表明,泥炭层的孢粉以常绿阔叶树为主,栲属(*Castanopsis Spach*)、青冈栎(*Cyclobalanopsis Quersus*)为建群树种,其中还见有樟科(Lauraceae)、杨梅(*Myrica L.*)、冬青(*Ilex purpurea Hassk*)、桤木(*Alnus cremastogyne Burkill*)等常绿阔叶树,水生、湿生草本植物中有较多的眼子菜(*P. distinctus*)、香蒲(Typhaceae)、黑三棱(*S. ctoniferum*)、水鳖(*Hydrocharis asiaticus*)等,这表明当时为湿、热气候条件.因此,泥炭层形成时期,气候是温暖而湿润的,该区在气候适宜期湖泊群扩张以及由陆地洪水所造成的地面洼地积水、地下水位上升是造成该在某一时期泥炭堆积的重要原因.

图 1 中所标的 a、b、c、d、e 和 f 六个时期,均是泥炭及埋藏古树重要的形成时期,这六个时期与全新世的 6 个相对高海面期大致相对应,同时也是气候暖湿期.特别是 7000–6000aBP,该时期泥炭与埋藏古树大量形成,在该区整个全新世非常突出,这一时期是全新世大暖期中稳定的暖湿期,即所谓的大暖期鼎盛阶段(Megathermal maximum)^[16].据前人研究^[17],该区在 7000–6000aBP 左右年均温较今日高 2°C,降水增加,根据长江两

岸的古树，当时河漫滩发育，副热带森林茂密，因海面上升顶托入江支流，使长江水位增高，长江下游很大一部分地区遭受到海水淹没，地面洪水泛滥，两岸湖泊沼泽发育，这次大洪水时代被称为第一次洪水。

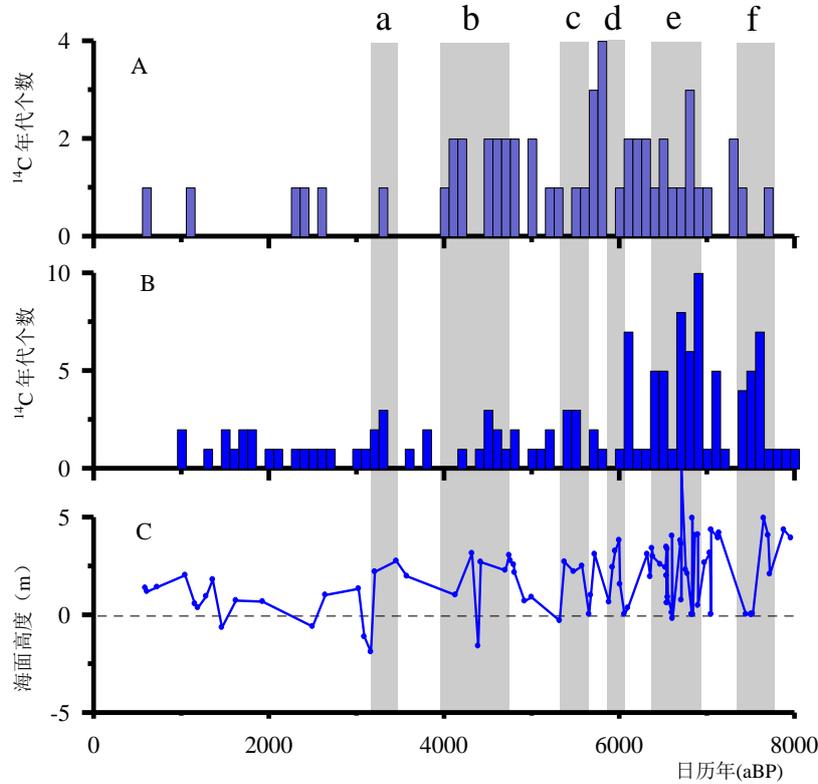


图1 长江三角洲地区埋藏古树(A)、泥炭(B)、全新世海面(C)变化比较

Fig. 1 Comparison between sea-level changes(C), frequency of calendar ages of buried paleotrees (A) and peat (B) in the Yangtze Delta region

其它的几个泥炭与埋藏古树相对集中形成期分别大致在 7400-7800aBP, 5300-5800aBP, 4500-5000aBP, 3100-3300aBP 以及 1000aBP 左右. 据我国学者多年来的研究表明^[19], 末次冰期以后, 夏季风开始增强, 气候变暖, 海面上升, 7000-6500aBP 左右海侵达最大范围. 本文依据贝壳砂堤以及泥炭的高程及埋深恢复了该区全新世以来的海面变化反映了该区全新世海面变化状况. 另外, 图1中的高海面期所对应的埋藏古树、泥炭形成期在长江三角洲地区的自然沉积地层以及考古地层中均有反映(图2). 如上海福泉山遗址第3、5含有埋藏古树的冲积地层, 海安青墩遗址底部黑色淤泥层, 南京江浦镇林峰桥剖面数层砂砾石洪积层以及江苏华山-储山口人工渠道自然沉积剖面中第3、5层等均是在全新世高海面期形成的洪积层, 多次洪水泛滥期给长江三角洲地区新石器时代人类生存带来了灾难, 在考古遗址中形成多期文化断层.

上述研究区泥炭与埋藏古树的形成期与该区高海面期基本相对应这一结果并非偶然, 海面上升的直接结果是海水对长江水流产生了顶托作用, 使长江河床加积, 水位上升, 扩

大了陆地洪灾的影响，导致“小水大灾”的洪灾现象，从而使该区长江两岸的一些地形洼地因排水不畅而先后积水，形成一些湖泊和许多的沼泽地、各种类型的湿地，为该区泥炭的形成创造了良好的环境，这已为许多的地质地貌调查资料^[20]以及数值模拟^[21]所证实。同时，在2100aBP, 3100aBP, 5000-5300aBP, 6000-6100aBP以及7800aBP左右气候相对干冷，这几个时期分别对应着该区相应的低海面以及泥炭、埋藏古树形成的贫乏期，在这几个时期，在格棱兰冰岩芯中主要表现为冰岩芯中的海盐含量、陆源尘埃增多，甚至处于峰值^[22]。

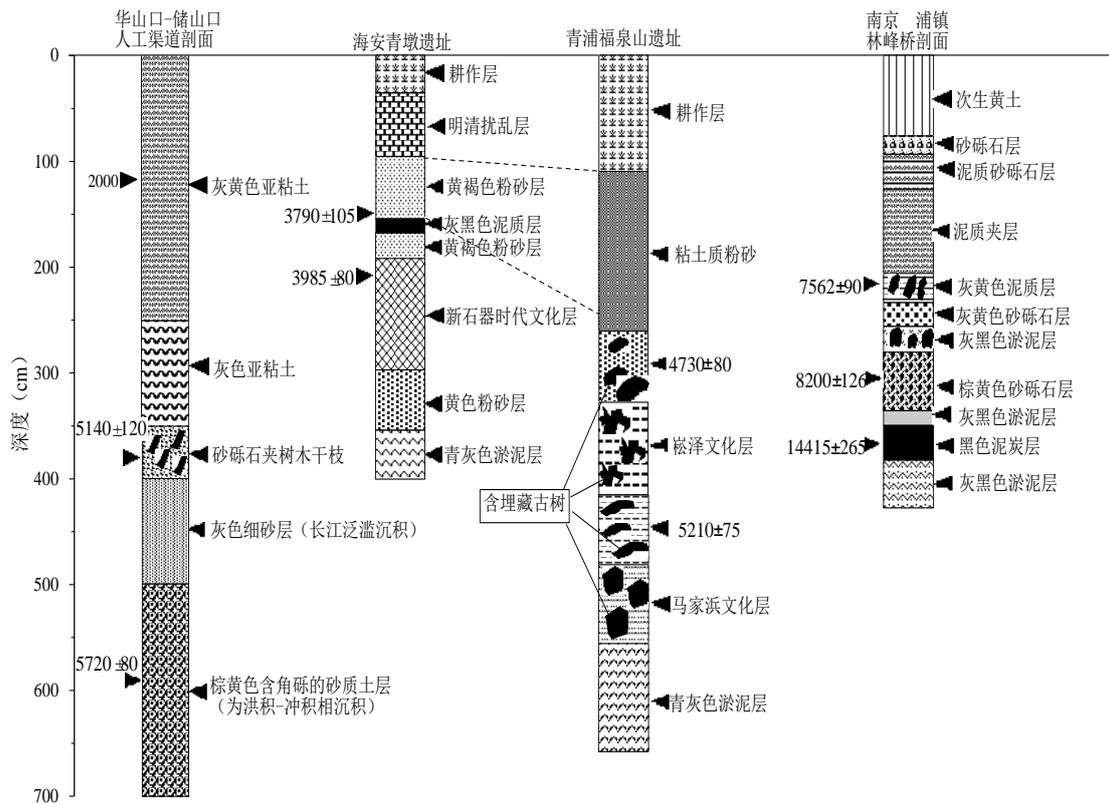


图2 长江三角洲地区自然沉积剖面与新石器时代考古遗址剖面对比示意图^[23-26]

Fig. 2 Comparison study on the natural and Neolithic cultural sections in the Yangtze Delta

3 历史时期洪水发生与海面变化相关关系探讨

为了研究的需要，本文将长江三角地区以长江为界分为两部分，搜集地方志、史志等有关洪水、海潮、以及气候变化等历史记录，绘制成图(图3, 图4)。

从图3可以看出，随着近年来全球气候变暖，无论是洪灾发生的频率还是海面变化均有上升的趋势。根据竺可桢^[27]的研究，600AD以前有近200年的气候寒冷期，从图3中可以看出此时期为低海面期，而且洪水发生频率较低。600-960AD，也即隋唐、五代十国时期，气温回升，处于我国的第三个温暖时期，随着气温回升，海面上升，洪水发生频率也在增大，在980-1130AD，中国气候进入与西欧小温暖期相当的气候温暖期，图3表明这个时期在高海面下仍为一个洪水频发期，台风比例增加，由风暴潮引起的洪灾有增加的趋势。但值

得注意的是，在 1310-1590AD 的小冰期冰盛中，海面下降，但这个时期却是洪水的频发期，这一个时期洪涝灾害乃至其它类型的自然灾害主要是由于小冰期处于气候转折期，气候波动剧烈的缘故。1800AD 以后，海面以及洪灾事件发生的频率又有上升的趋势。由于人类活动的增强，工业革命对全球气候产生了巨大的影响，使各种自然灾害剧增。另外，由海面上升、风暴潮等导致的洪灾事件占由过多降水引起的洪水事件比例也呈上升趋势(线性回归曲线呈上升趋势)。

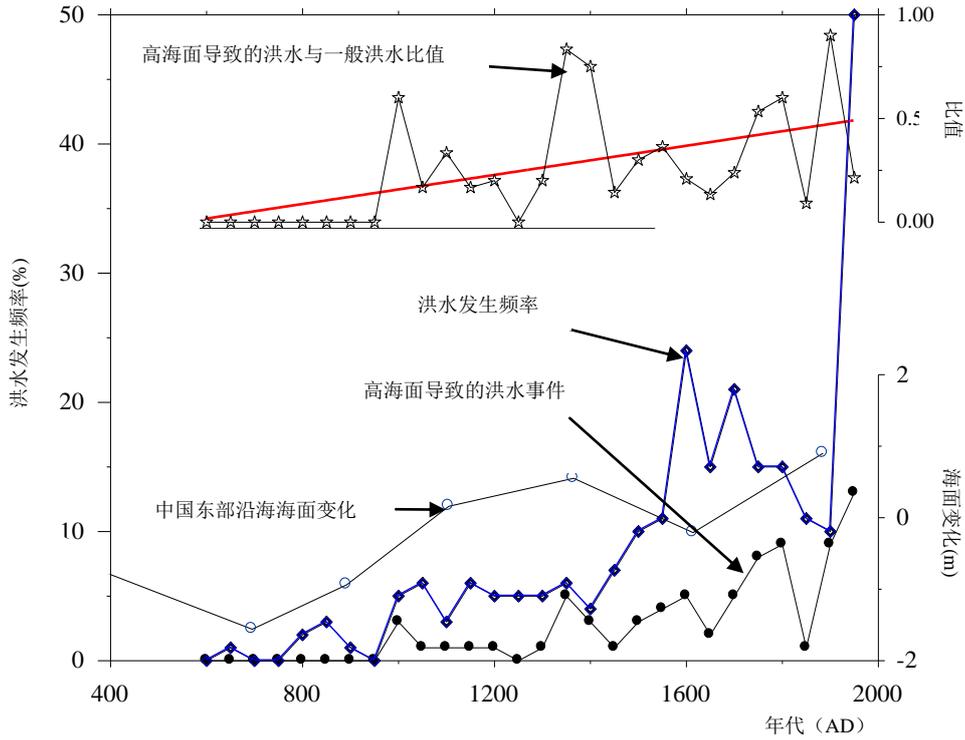


图3 长江三角洲长江以北地区 1500 年以洪水事件与海面波动

Fig.3 Sea-level fluctuations and flood events occurred to the north part of the Yangtze Delta since 1500aBP (the sea-level changing curve is after Wang Jian^[18])

图4 长江三角洲长江以北地区洪灾事件与海面变化关系中，图4比图3更明显地表现出研究洪灾事件的发生与海面变化的正相关关系。第一个阴影部分表明在低海面期，研究区洪灾事件发生的概率较小，而第二个阴影部分则表明高海面期研究区洪灾事件发生的频率较高。海面的上升是导致冰后期长江河谷泥沙加积的主要原因(图5)，随着海面的上升和河床的抬高，长江中下游的水位也随之上升，从而导致长江洪水期排泄不畅，从而加重洪灾的影响。同时，海面上升对长江水流的顶托作用也是加剧洪灾危害的一个重要原因。

但从图3与图4还可得出，长江三角洲地区洪灾事件与海面变迁所存在的这种正相关关系也不是稳定的，因而可以说，长江三角洲地区由于其地势低平，受到海面变化的影响强烈，由风暴潮、台风等导致的洪灾事件相对较多，同时，海面上升也只是通过对长江水流畅向上游方向的顶托而起到“加剧”长江洪灾的作用，而非长江洪灾发生的决定性因素。

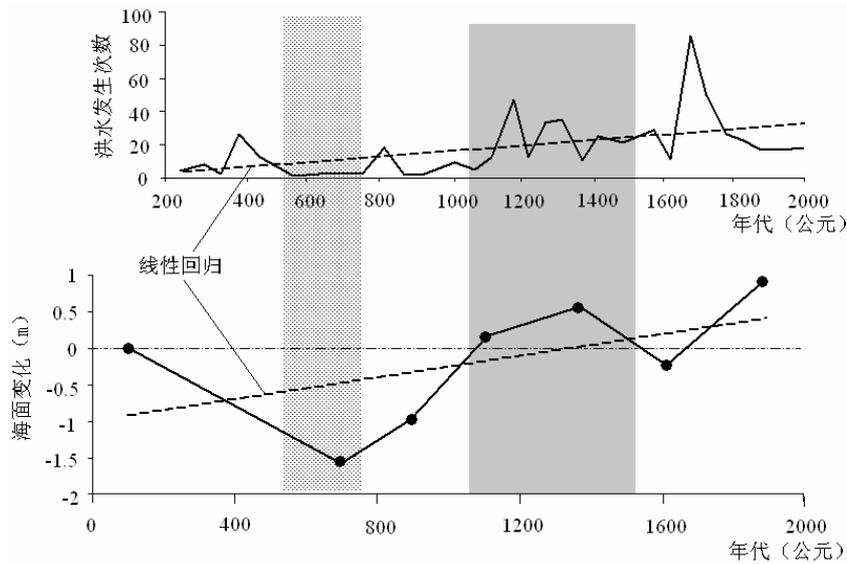


图4 长江三角洲长江以南地区洪水事件与海面变化的关系

Fig. 4 Relationship between sea-level changes and flood events in the southern Yangtze Delta

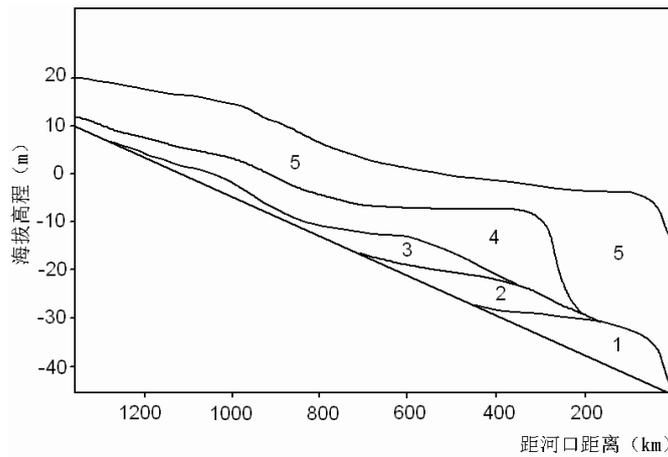


图5 距今12100年来海面上升对长江中下游河谷泥沙加积影响的数值模拟结果^[21]

(图中编号为加积发生次序, 所表示年代均为距今年数)

1: 12100-9500; 2: 9500-7500; 3: 7500-5500; 4: 5500-2500; 5: 2500-现代)

Fig. 5 Simulation outputs of sediment aggradation process in the Changjiang River valley caused by sea level rise since 12100 aBP

4 结论

由上述分析可得出如下几点认识:

洪水发生的频繁期与气候暖湿期相一致, 图1中的6个洪水高频发期与6个相对暖湿期相对应, 洪水的发生时期也是气候由暖到冷(或者由冷到暖)的气候转型期, 这与由历史资料研究得出的气候变化与洪水发生的关系相一致^[28]. 同时, 气候的频繁波动期往往与

洪水的频发期相对应。

长江三角洲地区的洪水频发期大致与高海面期相一致(如图1中的6个洪水频发期所对应的高海面期)。长江三角洲地区地势低平,由高海面所导致的长江河流上溯以及地面排水不畅是导致地面水域面积的扩大以及洪水发生的重要原因,同时,高海面期的风暴潮、台风等也是造成地面洪灾泛滥的重要因素。

数值模拟表明,海面的上升是导致冰后期长江河谷泥沙加积的主要原因,随着海面的上升和河床的抬高,长江中下游的水位也随之上升,从而导致长江洪水期排泄不畅,加重了洪灾的影响,加上长江三角洲地势低平,使海面变化成为长江三角洲地区洪灾发生的一个重要影响因子。同时,海面上升对长江水流的顶托作用也是加剧洪灾危害的一个重要原因。

本文的研究对于提高在全球气候变暖情况下对海面上升导致海岸带灾害影响的认识,加强海岸带地区自然灾害的预防工作,减少生命财产的损失,具有一定的理论与实践意义。

参 考 文 献

- 1 Zhang S Y, Cordery I, Sharma A. Application of an improved linear storage routing model for the estimation of large floods. *Journal of Hydrology*, 2002, 258: 58-68
- 2 Toth E, Brath A, Montanari A. Comparison of short-term rainfall prediction models for real-time flood forecasting. *Journal of Hydrology*, 2000, 239: 132-147
- 3 Grossman M J. Large floods and climatic change during the Holocene on the Ara River, Central Japan. *Geomorphology*, 2001, 39: 21-37
- 4 Muzik I. A first-order analysis of the climate change effect on flood frequencies in a subalpine watershed by means of a hydrological rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, 2002, 267: 65-73
- 5 Cunderlik J M, Burn D H. Analysis of the linkage between rain and flood regime and its application to regional flood frequency estimation. *Journal of Hydrology*, 2002, 261: 115-131
- 6 张树夫, 宁绍平原全新世泥炭与海面变化. 见: 刘泽纯主编, 第四纪沉积与环境变迁. 南京: 东南文化杂志社出版, 1991: 90-96
- 7 Ovenden L. Peat accumulation in northern wetlands. *Quaternary Research*, 1990, 33: 377-386
- 8 刘苍宇, 吴立成, 曹敏. 长江三角洲南部古沙堤(冈身)的沉积特征、成因及年代. *海洋学报*, 1985, 7(1): 55-66
- 9 Mason O K. Beach Ridge Geomorphology of Kotzebue Sound: Implications for Paleoclimatology and Archeology. PhD Dissertation, University of Alaska, 1990: 262
- 10 Psuty N P. The geomorphology of beach ridges in Tabasco. Louisiana State Univ. Coastal Studies Inst Techn Report, 1966, No. 30: 51
- 11 Vilas F, Arche A, Ferrero M, *et al.* Subantarctic macrotidal flats, cheniers and beaches in San Sebastian Bay, Tierra Del Fuego, Argentina. *Marine Geology*, 1999, 160: 301-326
- 12 陈高庸, 杜佐周, 郑振铎等. 中国历代天灾人祸表. 上海: 上海书店, 1939
- 13 Yu S, Zhu C, Song J, *et al.* Role of climate in the rise and fall of Neolithic cultures on the Yangtze Delta. *Boreas*, 2000, 29: 157-165
- 14 Aaby B, Tauber H. Rates of peat formation in relation to degree of humification and local environment, as shown by studies of a raised bog in Denmark. *Boreas*, 1975, 4: 1-17

- 15 蒋新禾. 太湖地区第四纪以来孢粉组合和古地理演变. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊 (第 7 集). 北京: 科学出版社, 1990: 10-25
- 16 施雅风, 孔昭宸, 王苏民等. 中国全新世大暖期气候与环境的基本特征. 见: 施雅风主编, 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992: 1-18
- 17 杨怀仁, 徐馨, 杨达源等著. 长江中下游环境变迁与地生态系统. 南京: 河海大学出版社, 1995:9-30
- 18 王建. 中国东部晚第四纪的两次大地水准面型海面变化. 见: 刘泽纯主编. 第四纪沉积与环境变迁. 南京: 东南文化杂志社, 1991: 76-81.
- 19 王富葆. 海洲湾西岸埋藏贝壳堤与晚更新世以来的海面变化. 见: 中国第四纪研究委员会, 中国海洋学会编, 中国第四纪海岸线学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 1982
- 20 朱海虹等. 鄱阳湖的成因、演变及其三角洲沉积. 中国科学院南京地理研究所集刊. 北京: 科学出版社, 1983, 1: 28-39
- 21 方金琪. 冰后期海面上升对长江中下游影响的探讨. 地理学报, 1991, 4: 427-435
- 22 O'Brien S R, Mayewski P A, Meeker L D. Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland Ice Core. *Science*, 1995, 270: 1962-1964
- 23 上海文物保管委员会. 上海青浦福泉山遗址崧泽文化遗存. 考古学报, 1990, (3): 28-34
- 24 张强, 朱诚, 姜逢清等. 南京江北地区晚更新世以来环境演变研究. 地理科学, 2001, 6: 498-504
- 25 孔昭宸, 杜乃秋, 张义君等. 句容宝华山山龙眼化石植物群的发现及其在气候学和植物学上的意义. 第四纪研究, 1991, 4: 326-335
- 26 张强, 朱诚, 张之恒. 江苏海安青墩地区新石器时代环境考古研究. 地理研究, 2003. (待发表)
- 27 竺可桢. 中国近 5000 年气候变迁的初步研究. 中国科学 (B 辑), 1973, 2: 115-120
- 28 Zhang Q, Zhu C, Chen J. Preliminary study on the flooding and drought calamity during past 1500 years in the Haian region. *Chinese Geographical Science*, 2002, 12: 146-152

Sea Level Changes and Paleoflood Events since the Holocene Epoch in the Yangtze Delta Region

ZHANG Qiang & JIANG Tong

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, P.R. China)

Abstract

Wide collection is performed on the dating materials of buried paleo-trees, peat and shells, and also the chorography and historical document in the Yangtze Delta. All the ^{14}C data are calibrated into calendar years. The sea level changes in the Yangtze Delta are reconstructed from the ^{14}C -dated shell ridges and peat. The research results indicate that frequently occurring flood periods matched the climatically warm and wet periods well. 6 flooding periods correspond to the 6 periods characterized by relatively warm and humid. Humid and warm climate is in close relation to the occurrence of floods. Additionally, the Yangtze Delta is geomorphologically low-lying, making flood events occurred to the region susceptible to sea-level changes other than the main flood-inducing factors like excessive precipitation and human activities. In the middle and lower reaches of the Yangtze River, the rise of sea level plays a key role in the deposition of the sand on the riverbed. With the rise of the sea level and the river bed, the water level of the middle and lower part of the Yangtze River rises correspondingly, the result of which is to make the discharge of excessive water difficult during the flood period, intensifying the loss induced from flood disasters. The pushing to the water flow of the Yangtze River from the high sea level is also one of the factors intensifying the negative effect of the flood disaster. Digital modeling results indicate that rising of sea level is the main driving factor for the deposition of the riverbed sand after the Ice Age. The result of this deposition is the decreasing of the transportation capacity of the flood discharge, together with the rising of the sea level; all these factors make the transportation of the flood discharge more difficult. This paper put under consideration the influence the sea-level changes on the flood events occurred to the Yangtze Delta, the research results are theoretically and practically meaningful in forecasting the occurrence of flood disasters and strengthening the prevention of coastal disasters.

Keywords: The Yangtze Delta, paleoflood, the Holocene, sea-level changes