

中国 4.0 ka BP 前后气候的空间分布特征 及其对史前文明变迁的影响

彭亚君¹⁾, 孙千里²⁾, 陈静²⁾, 李茂田²⁾

1) 华东师范大学地理系, 上海, 200062; 2) 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海, 200062

内容提要:本文收集整理了中国不同气候区 84 个地点 110 条 4.0 ka BP 前后的古气候、古环境记录, 以讨论该时段前后气候的空间分布特征及其对史前文明变迁的影响。结果表明, 4.0 ka BP 前后中国绝大部分地区气候以降温为主。从湿度变化上看, 北部、西北部的干旱区以及东部季风区的大部分地区气候为干或偏干状况, 仅有少数记录, 如长江下游、黄土高原中部偏南地区为“洪水”频发表征的湿度增加。总体上看, 4.0 ka BP 前后, 中国气候似乎并未呈现“南湿润北干旱”的空间分布特征, 部分地区出现的湿度增加或土壤侵蚀加剧情况, 或与 4.0 ka BP 前后厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)变化引起季风降水的季节性分布差异加大有关。同时, 中国北部、中原以及长江中下游地区新石器文明在该时段的普遍衰退, 则表明气候、环境变化是 4.0 ka BP 前后史前文明变迁的重要驱动力。

关键词:气候特征; 4.0 ka BP; 季风降水; 史前文明

全新世中后期对古气候以及人类文明来说都被认为是一个重要的转折期(Sandweiss et al., 1999)。这一方面表现在全新世中期后气候出现快速的波动, 如季风活动减弱, 干旱化加剧(Meese et al., 1994; Bond et al., 1997, 2001; McDermott et al., 2001; Guo Zhengtang et al., 2002; Thompson et al., 2002; Mayewski et al., 2004; Wang Yongjin et al., 2005)。另一方面, 全新世中期以来史前文明在欧亚、非洲以及安第斯山等地区的发展被认为奠定了这些地区古代文明的基础(Curtis et al., 1996; Grosjean et al., 1997; Sandweiss et al., 1996; Cullen et al., 2000; Messerli et al., 2000; deMenocal, 2001; Weiss and Bradley, 2001; Wu Wengxiang and Liu Tungsheng, 2004; Kuper and Kröpelin, 2006)。作为全新世中后期最为重要的气候事件, 发生在 4.0 ka BP 前后的气候突变尤为引人注目。这一以降温为主要特征的气候大幅变化不仅范围波及整个北半球, 还因其发生在世界文明前夜或早期, 被认为与非洲尼罗河流域的古埃及文明、两河流域的美索不达米亚古阿卡德文明、印度河流域的哈拉帕文明以及中国中东部的新石器文明等一

系列北半球古文明的衰落之间有重要关联(Courty, 1989; Weiss, 1993; Cullen et al., 2000; Yu Shiyong et al., 2000; Wu Wengxiang and Liu Tungsheng, 2004)。作为一个重要的时间窗口, 4.0 ka BP 前后气候变化具有怎样的冷暖、干湿特征, 人类活动与之存在怎样的适应和响应关系成为气候、环境学家关注的热点之一。

为此, 本文拟利用中国不同气候、环境区的 84 个地点具有可靠年代学基础的 110 条古气候、古环境记录来提取 4.0 ka BP 前后气候的冷暖、干湿变化信息, 揭示 4.0 ka BP 前后中国气候冷暖、干湿变化的空间分布特征; 通过与考古记录获得的同期史前人类活动信息作对比, 探讨 4.0 ka BP 前后中国气候、环境变化与人类活动的适应及响应关系, 阐述其对史前文明的可能影响。

1 研究材料及方法

当区域的古气候、环境数据数量具有统计意义时, 通常可以用它们的时空分布特征来指示区域的古气候、古环境变化特征, 以降低由单独记录引起的不确定性(郭正堂等, 1999)。本文综合了中国有

注: 本文为国家自然科学基金(编号 41272194)以及华东师范大学河口海岸学国家重点实验室自主课题(编号 SKLEC-2012KYYW01)资助的成果。

收稿日期: 2012-05-24; 改回日期: 2012-12-04; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 彭亚君, 女, 1987 年生。硕士研究生, 主要从事全新世气候与环境演变研究。通讯作者: 孙千里, 副研究员。Email: qlsun@sklec.ecnu.edu.cn。

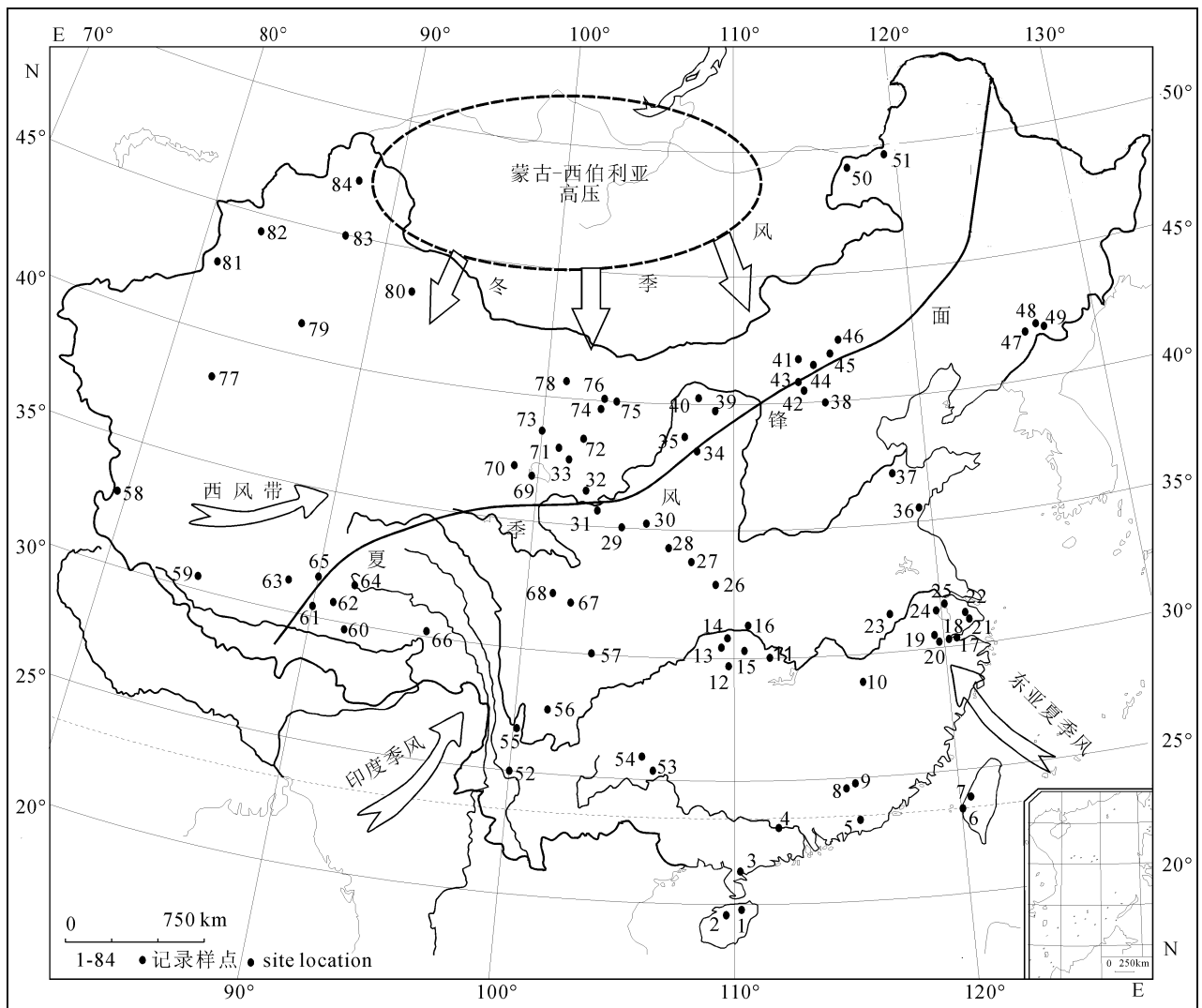


图 1 中国的气候系统以及古环境、气候数据点分布(数据编号见表 1)

Fig. 1 Map showing the climate system of China and the locations of palaeoclimatic, paleoenvironmental records (see table 1)

关古气候、环境领域研究的最新成果,选取了 84 个地点,110 条具有可靠年代学基础,且涵盖 4.0 ka BP 前后(4.2 ~ 3.8 ka BP)时段的古气候、古环境记录作为研究对象。从记录的气候区划分上看,由西向东跨越了西部干旱区、季风干旱过渡区以及季风湿润区等典型气候区。与前人区域的研究类似 (Morrill et al., 2003; Herzschuh, 2006),本文分析采用的数据点不仅在大气环流影响范围内,而且在不同的地貌单元均保持了一定的样本数量,这样收集到的古气候、古环境序列信息能较好地反映当时气候的区域特征,指示研究区域的环境条件(图 1)。

本文中,以各数据点的文献描述为基础,将涵盖 4.0 ka BP 前后时段 110 个有效数据表达的气候特征按湿度变化分为湿润、偏湿、偏干和干旱四个级

别,并分别用不同图例标注;同时,也将该时段的温度变化特征分为暖、温、凉和冷四个级别,用不同图例标注。在此基础上,建立了 4.0 ka BP 前后中国大陆不同气候、环境区水热状况分布的数据库(表 1)。

有关 4.0 ka BP 前后新石器时期人类活动的信息主要来源于考古记录,同时综合了前人研究成果的表述。为了建立人类活动对不同气候区 4.0 ka BP 前后气候变化的响应和适应关系,利用东部季风区、季风—干旱过渡区和干旱区等典型地区的考古遗址的空间分布规律、人文活动内涵以及古文化迁移方向等特征来提取区域人类活动信息,进而讨论其对气候、环境变化的响应方式。

表 1 中国 4.0 ka BP 前后古气候数据点

Table 1 Palaeoclimatic records in China around 4.0 ka BP

样点	编号	地点	类型	纬度 (N)	经度 (E)	海拔 (m)	记录时段跨度 (ka BP)	研究时段跨度 (ka BP)	气候状况	测年 (个)	主要指标	资料来源
1	1	双池	湖泊	19°57'	110°11'		7.2 ~ 0	3.8	湿润	12	孢粉	Zheng Zhuo et al. ,2003
	2	海南岛	湖泊	19°57'	110°11'	65	12.0 ~ 0	4.9 ~ 2.6	降雨增强	12	磁化率	罗攀等,2006
2	3	海南岛	沙地	19°21'	108°41'		40.0 ~ 0	4	变暖	4	介形虫	李森等,2009
3	4	湖光岩	湖泊	21°02'	110°03'		50.0 ~ 0	4.25	干旱降温	44	孢粉	Liu Jiaqi et al. ,2000
	5	湖光岩	湖泊	21°9'	110°17'		11.6 ~ 0	4.2	降温	22	孢粉	Wang Shuyuan et al. ,2007
4	6	盘龙洞	石笋	22°56'	112°02'	70	11.3 ~ 0	4 ~ 2.5	冷干	23	氧同位素	Li Bin et al. ,1998
5	7	汉江平原	沉积物	23°20'	116°5'		10.3 ~ 0	7.5 ~ 4	暖湿	6	孢粉	Zheng Zhuo et al. ,2000
6	8	Toushe	泥炭	23°49'	120°53'	650	11.2 ~ 0	4.2 ~ 4.0	变冷	13	孢粉	Liew et al. ,2006
7	9	撤退湖	湖泊	24°29'	121°26'	2230	10.3 ~ 0	4.5 ~ 2.1	干旱	10	TOC、Rb/Sr	Selvaraj et al. ,2007
8	10	太湖	泥炭	24°41'	115°	288	18.33 ~ 0	6.08 ~ 0	凉干	16	孢粉	萧家仪等,2007
9	11	定南	沉积物	24°45'	115°02'		14.3 ~ 0	4.5 ~ 4	变干	7	孢粉	Dodson et al. ,2006
	12	定南	泥炭	24°15'	115°2'		15.6 ~ 0	6.0 ~ 3.8	冷干	12	TOC	Zhou Weijian et al. ,2005
	13	大湖	泥炭	24°45'	115°02'	240	12 ~ 0	4	干冷	5	腐殖化度	薛积彬等,2007
	14	大湖	泥炭	24°15'	115°2'		18.0 ~ 0	4.1 ~ 3.8	冷干	10	孢粉	Zhou Weijian et al. , 2004
10	15	鄱阳湖	湖泊	28°24'	115°49'		5.0 ~ 0	4.2 ~ 3.9	冷湿	6	孢粉	彭红霞等,2003
	16	鄱阳湖	湖泊	29°01'	116°08'	13	7.3 ~ 0.5	7.3 ~ 3.6	暖湿	6	孢粉	谢振东等,2006
11	17	江陵	沉积物	30°02'	112°25'	29	9.0 ~ 0	4.27 ~ 4.16	降温	7	孢粉	谢远云等,2006
12	18	莲花洞	石笋	29°29'	109°32'	455	6.5 ~ 0	4	干	10	氧同位素	Cosford et al. ,2008
13	19	新崖洞	石笋	30°45'	109°28'	1250	4.5 ~ 0.25	4.1	冷干	5	氧、碳同位素	李廷勇等,2006
14	20	大九湖	泥炭	31°04'	109°09'	1760	16.0 ~ 0	4.2	冷干	10	碳同位素	Ma Chunmei et al. ,2008
	21	大九湖	泥炭	31°29'	109°59'	1760	15.7 ~ 0	4.0 ~ 0.9	温干	10	孢粉	朱诚等,2006
15	22	和尚洞	石笋	30°27'	110°25'	294	9.45	4.8 ~ 4.1	干	21	氧同位素	Hu Chaoyong et al. ,2008
16	23	山宝洞	石笋	31°40'	110°26'		11.5 ~ 2.1	4.4 ~ 2.1	变干	14	氧同位素	Shao Xiaohua et al. ,2006
17	24	杭州湾	沉积物	30°08'	120°12'	3	10.0 ~ 2.9	5.1 ~ 2.9	温凉	6	地球化学	顾明光等,2005
18	25	跨胡桥	沉积物	30°08'	120°13'	44	10 ~ 2.9	5.0 ~ 2.9	温凉偏干	6	孢粉	顾明光等,2006
19	26	千亩田	泥炭	30°29'	119°26'	1338	5.0 ~ 0	4.2 ~ 3.7	干旱	4	腐殖化度	马春梅等,2008
20	27	庆丰	沉积物	30°19'	119°50'		7.5 ~ 0	4.4 ~ 4.0	湿润	9	有孔虫	王绍鸿等,1997
21	28	DJY 孔	沉积物	31°06'	121°58'		8.0 ~ 0	4	低温	5	孢粉	赵宝成等,2007
22	29	赵巷-1	沉积物	31°13'	121°38'		8.0 ~ 0	4.2 ~ 4	冷湿	7	孢粉	Chen Zhongyuan et al. ,2005
23	30	巢湖	湖泊	31°31'	117°22'	27	5.6	4.6 ~ 3.6	寒冷	4	植硅体	范斌等,2006
	31	巢湖	湖泊	31°31'	117°22'		10 ~ 0	4.8 ~ 3.7	变干	11	孢粉	Chen Wei et al. ,2009
	32	巢湖	湖泊	31°33'	117°23'	27	9.87 ~ 0	4.86 ~ 2.17	温和干燥	6	孢粉	Wang Xinyuan et al. ,2008

(续表 1)

样点	编号	地点	类型	纬度 (N)	经度 (E)	海拔 (m)	记录时段跨度 (ka BP)	研究时段跨度 (ka BP)	气候状况	测年 (个)	主要指标	资料来源
24	33	太湖平原	沉积物	31°48'	119°58'	7	11~0	3.9	温凉湿润	6	孢粉	舒军武等,2007
25	34	HQ98	沉积物	32°15'	120°14'	5.91	10.93~0	4.8~3.86	冷干	11	孢粉	Yi et al.,2006
26	35	九仙洞	石笋	33°34'	109°06'	1495	11.2~0	4.5~2.5	变干	23	氧同位素	Cai Yanjun et al.,2010
27	36	葫芦河	河流	34°03'	108°03'	1629	8.0~3.0	4.8~4.2	凉干	2	考古	莫多闻等,1996
28	37	岐山	黄土	34°27'	107°45'	700	11.5~0	5~3.1	湿润		碳酸盐	黄春长等,2002
29	38	大地湾	黄土	35°01'	105°54'	1400	7.5~3.8	3.8	变干	3	粒度、孢粉	An Chenbang et al.,2003
	39	大地湾	黄土	35°76'	105°82'		11~0	5~4.0	干旱	4	孢粉	夏郭胜等,1998
30	40	天池	黄土	35°15'	106°18'	2430	6.2~0	6.2~2.9	变干	19	孢粉	Zhao Yan et al.,2010
31	41	苏家湾	黄土	35°32'	104°31'	1700	8.5~3.8	3.8	变干	3	粒度、孢粉	An Chenbang et al.,2003
32	42	兰州河谷	黄土	36°02'	103°51'	1521	10~0	5~3.5	温凉干燥	6	孢粉	汪世兰等,1991
33	43	哈溪	黄土	37°30'	102°24'	2450	10~0	5~3.6	暖湿	5	磁化率	邬光剑等,1998
34	44	柳树湾	黄土	37°39'	108°37'	1400	13~0	4.5~3.5	凉湿	21	花粉	李小强等,2000
35	45	靖边	黄土	37°59'	108°8'		10~0	5.5~2.7	暖湿	11	粒度、TOC	Xiao Jule et al.,2002
36	46	青岛	沉积物	35°35'	119°30'		7.25~0	4.55~3.9	变冷	5	孢粉	Chen Wei et al.,2011
37	47	黄河	沉积物	37°40'	118°28'	5.5	12~0	4.5~2.7	变冷	23	孢粉	Yi et al.,2003
	48	黄河三角洲	沉积物	37°47'	118°35'	7	10.9~0	4.15~3.15	变暖	6	地球化学	鲜本忠等,2005
38	49	太师庄	泥炭	40°04'	115°05'	150	6.2~2.1	4.8~4.2	变冷	6	孢粉	Jin Guiyun et al.,2002
39	50	巴汗淖湖	湖泊	39°19'	109°16'	1278	7.65~0	5.40~3.7	温凉偏湿	16	氧、碳同位素	Guo Lanlan et al.,2007
40	51	盐海子	湖泊	40°06'	108°25'	1180	14.0~0	4.3	干旱	17	磁化率	Chen Chen-Tung et al.,2003
41	52	调角海	湖泊	41°18'	112°21'	1800	10~0	4.4~3.0	暖干	4	孢粉	Shi Peijun et al.,2003
42	53	岱海	湖泊	40°35'	112°04'		14.0~0	4.8~3.4	冷湿	6	孢粉	Li Xiaoqiang et al.,2004
	54	岱海	湖泊	40°35'	112°40'		10.0~0	4.4~4.2	降水减少	8	粒度	Peng Yanjia et al.,2005
	55	岱海	湖泊	40°35'	112°40'		10.0~0	4.4~3.9	冷干	8	孢粉	Xiao Jule et al.,2004
43	56	察素齐	泥炭	40°40'	111°08'	1000	9.1~0	4.1	干旱	4	花粉	王璋瑜等,1997
44	57	黄旗海	湖泊	40°46'	113°12'	1308	8.0~2.0	3.5	冷干	5	磁化率	申洪源等,2010
45	58	巴彦查干	湖泊	41°65'	115°21'	1355	12.5~0	5.1~2.6	冷干	9	孢粉	Jiang Wenying et al.,2006
46	59	好鲁库	湖泊	42°57'	116°45'	1295	10~0	5.9~3.7	变干	4	孢粉	Liu Hongyuan et al.,2002
47	60	孤山屯	沼泽	42°	126°	500	13.4~0	4	减温期	5	孢粉	刘金陵,1989
48	61	金川	泥炭	42°22'	126°26'	662	5.5~0	5.5~4.2	变冷变干	6	孢粉	Jiang Wenying et al.,2008
49	62	四海龙湾	湖泊	42°17'	126°36'	797	15.0~2.0	4.1	强干	36	F-bSiO ₂	Schettler et al.,2006
50	63	呼伦湖	湖泊	48°30'	116°58'		10.6~0	5.0~3.0	温干	4	孢粉	羊向东等,1996
	64	呼伦湖	湖泊	49°07'	117°03'		11~0	4.4~3.5	很干	13	孢粉	Wen Ruilin et al.,2010

(续表 1)

样点	编号	地点	类型	纬度 (N)	经度 (E)	海拔 (m)	记录时段跨度 (ka BP)	研究时段跨度 (ka BP)	气候状况	测年 (个)	主要指标	资料来源
51	65	呼伦贝尔	沙漠	49°35'	119°32'		11~0	4.4	变干	20	岩性	Li Shenghua et al. , 2006
52	66	洱海	湖泊	25°42'	100°01'	1973	8.1~0	4.1~3.5	冷湿	3	碳同位素	张振克等,2008
	67	洱海	湖泊	25°52'	100°01'	1961	12~0	6.3~2.1	温暖湿润	7	孢粉、硅藻	沈吉等,2004
53	68	董歌洞	石笋	25°17'	108°05'	680	11.5~0	4.2	变干	45	氧同位素	Dykoski et al. ,2005
	69	董歌洞	石笋	25°24'	107°53'	659	15.7~3.9	4.75	变冷	15	氧、碳同位素	覃嘉铭等,2004
54	70	七星洞	石笋	26°04'	107°16'		7.7~0	3.8	降水减少	4	氧同位素	Cai Yanjun et al. ,2001
55	71	仙人洞	石笋	27°45'	100°36'	2900	4.5~2	4	干旱	3	氧、碳同位素	张美良等,2006
56	72	杀野马	湖泊	28°35'	102°13'	2453	11.0~0	4.2	温干		孢粉	Jarvis,1993
57	73	成都平原	泥炭	30°39'	104°03'	497	4	3.6~3.8	暖偏湿	6	孢粉	罗丽萍等,2008
58	74	班公湖	湖泊	33°04'	79°	4241	10.0~0	4.3	变干	25	氧同位素	Gasse et al. ,1996
59	75	扎布耶	湖泊	31.35°	84.07°	4421	30.0~0	5.5~3.8	变干	17	碳同位素	Wang Ruiliang et al. ,2002
60	76	海登湖	湖泊	29°48'	92°22'	4980	11.3~0	3.8	冷	3	孢粉	唐领余等,1999
61	77	纳木错	湖泊	31°01'	91°25'	4730	8.0~0	4.8~2.7	湿润	3	孢粉	Herrmann et al. ,2010
	78	纳木错	湖泊	30°30'	90°16'	4718	8.4~0	6~2.9	冷干	12	矿物	Zhu Liping et al. ,2008
62	79	错那	湖泊	31°03'	91°03'	4532	10.5~1.6	5.75~4	冷干	10	同位素	Wu Yanhong et al. ,2006
63	80	色林错	湖泊	31°30'	89°05'	4530	15.0~0	4	变干	7	氧、碳同位素	Kenji et al. ,1995
64	81	Ahung Co	湖泊	31.62°	92.06°	4575	7.5~0	4	变干	56	碳、氧同位素	Morrill et al. ,2006
65	82	兹格塘错	湖泊	32°	90°09'	4560	11.5~0	4.4~0	变冷	5	孢粉	Herzschuh. et al. ,2006
	83	兹格塘错	湖泊	32°09'	90°05'	4560	10.6~0	3.9	冷干	5	TC、TOC	吴艳宏等,2007
66	84	仁错	湖泊	30°43'	96°40'	4450	18.2~0	3.8	冷	7	孢粉	唐领余等,1999
67	85	红原	泥炭	32°46'	102°03'	3446	12.0~0	5.6~3.9	干冷气候	15	腐殖化度	王华等,2003
	86	红原	泥炭	32°46'	102°31'	3527	10.0~0	4.1	冷干	11	腐殖化度	于雪峰等,2006
	87	红原	泥炭	32°48'	102°32'	3505	11.0~0	4.4	冷干	17	TOC	Zhou Weijian et al. ,2002
	88	红原	泥炭	33°03'	102°03'	3446	9.6~0.3	4.2~3.7	冷干	16	同位素	David et al. ,2009
	89	红原	泥炭	33°46'	103°03'	3447	6.0~0	4.6~4.2	低温	7	氧同位素	Xu Hai et al. ,2002
68	90	瓦松	泥炭	33°07'	102°36'	3490	30.0~0	4	变干	9	孢粉	Yan Ge et al. ,1999
69	91	青海湖	湖泊	36°32'	99°36'	3200	18.0~0	4.5~2.5	冷干	10	孢粉	Shen Ji et al. ,2005
70	92	茶卡盐湖	湖泊	36°38'	99°02'	3200	10.43~0	5.3~1.7	变冷变干	10	矿物	Liu Xinqing et al. ,2008
71	93	乱海子	湖泊	37°59'	101°35'	3200	50.0~0	7~0	变干	12	孢粉	Herzschuh et al. ,2006
72	94	红水	沉积物	38°10'	102°45'	1460	8.5~3.0	4.3~3.47	变冷	9	孢粉	Zhang Hucai et al. ,2000
73	95	河西走廊	黄土	38°13'	100°52'		11.2~0	4~3.5	降温期	5	磁化率	吴永红等,2006
74	96	青土湖	湖泊	39°03'	103°04'	1309	10.0~0	4.8~0	干旱化	11	TOC、C/N	Long Hao et al. ,2010
	97	猪野泽	湖泊	39°1'	103°20'	1320	11.6~0	7.1~3.8	干	9	孢粉	Chen Fahu et al. ,2006

(续表 1)

样点	编号	地点	类型	纬度 (N)	经度 (E)	海拔 (m)	记录时段跨度 (ka BP)	研究时段跨度 (ka BP)	气候状况	测年 (个)	主要指标	资料来源
75	98	名勤盆地	湖泊	39°03'	103°05'		9.87 ~ 0	4.5 ~ 3.4	多雨	4	磁化率	Chen Fahu et al. ,2001
76	99	野马湖	湖泊	39°06'	103°40'		11.3 ~ 1.3	4.2	变干	4	磁化率	Chen Fahu et al. ,1999
77	100	敦德	冰芯	38°01'	82°04'	5325	4.5 ~ 0	4.5 ~ 4.1	变冷		氧同位素	Yao Tandong et al. ,1992
78	101	博斯腾湖	湖泊	41°54'	86°43'	1048	8.4 ~ 0	4.3	变干	6	TOC	Wünnemann et al. ,2003
	102	博斯腾湖	湖泊	41°94'	86°76'	1049	8.6 ~ 0	4.6 ~ 4.3	干	6	TOC、Sr/Ca	Wünnemann et al. ,2006
	103	博斯腾湖	湖泊	41°54'	86°43'	1049	8.5 ~ 0	4.3 ~ 4.0	干	5	Sr/Ca、Mg/Ca	Mischke et al. ,2006
79	104	居延海	湖泊	41°89'	101°85'	892	10.7 ~ 0	3.9	变干	5	孢粉	Herzschuh et al. ,2004
80	105	巴里坤湖	湖泊	43°36'	92°46'	1575	16.7 ~ 0	4.3 ~ 3.8	干旱	13	孢粉	Tao Shichen et al. , 2010
81	106	伊犁河谷	沉积物	43°58'	80°32'	605	3.71 ~ 0	3.71 ~ 3.06	凉湿	3	TOC、氧化铁	陈秀玲等,2010
82	107	艾比湖	湖泊	44°54'	82°35'	194	10.2 ~ 0	4	冷干	2	孢粉	吴敬禄等,1996
83	108	玛纳斯湖	湖泊	45°10'	86°00'	251	37.0 ~ 0	3.8 ~ 3.5	干旱	10	碳酸盐	林瑞芬等,1996
84	109	乌伦古湖	湖泊	46°59'	87°00'	478.6	9.5 ~ 0	4.2	偏湿	6	孢粉、粒度	Liu Xingqi et al. ,2008
	110	乌伦古湖	湖泊	47°15'	87°02'	476.8	9.98 ~ 0	5.2 ~ 3.64	暖干	7	介形同位素	蒋庆丰等,2007

卧排表 1

2 结果

2.1 4.0 ka BP 前后水热气候要素空间分布特征

绝大多数的古气候记录表明,4.0 ka BP 前后中国大陆的气候以降温为主要特征,局部地区甚至表现为寒冷(图 2)。

在东北地区,金川泥炭的孢粉记录表明明显降温发生在大约 4.2 ka BP 后(Jiang Wenying et al., 2008),邻近的东北平原两个泥炭沉积剖面也显示红松在这一时期扩张,指示气温降低(Mirosław et al., 2004)。在西北内陆区,青海湖沉积物钻孔的多指标分析表明,青海湖地区在 4.5 ka BP 后相对暖湿的阶段结束,在大约 3.9 ka BP 后气候更加趋于寒冷且干旱(Shen Ji et al., 2005)。腾格里沙漠地区红水河沉积物研究揭示 4.3 ~ 3.7 ka BP 期间高山冰川出现前进,为显著降温阶段(Zhang Hucui et al., 2000)。在青藏高原地区,对错那和纳木错湖泊沉积物的研究发现在 4.0 ka BP 前后降温出现并导致了湖泊生产力的下降(Wu Yanhong et al., 2006; Zhu Liping et al., 2008),而兹格唐错沉积物艾属和莎草科比值的变化也说明在 4.4 ka BP 以后气候趋冷(Herzschuh et al., 2006)。在季风—干旱过渡区,呼伦湖沉积物高分辨率的孢粉记录显示 4.40 ~ 3.35 ka BP 期间曾出现明显的降温(Wen Ruilin et al., 2010),对岱海沉积物孢粉的分析也揭示了大约 4.4 ~ 3.9 ka BP 期间的明显降温(Xiao Jule et al., 2004)。在长江中游地区,大九湖泥炭沉积物孢粉组合重建的温度变化表明 4.0 ka BP 左右温度出现明显降低(Zhu Cheng et al., 2008)。长江下游河口地区,两个沉积物钻孔的孢粉分析分别揭示了 4.8 ~ 3.8 ka BP 期间和 4.0 ka BP 前后温度的相对降低,喜凉花粉浓度增加(Yi et al., 2006; Tao Jing et al., 2006)。在西南地区,红原泥炭碳同位素记录显示 4.2 ~ 3.7 ka BP 期间为显著降温阶段(David et al., 2009)。而在亚热带的华南地区,湖光岩玛珥湖沉积物记录到了大约 4.2 ka BP 后草本和山地针叶花粉含量的增加,指示温度的相对下降(Liu Jiaqi et al., 2000; Wang Shuyun et al., 2007)。

4.0 ka BP 前后,中国不同地区古气候记录揭示的湿度变化则相对复杂(图 3)。在北部、西北部的干旱区以及东部季风区的大部分地区显示为干或偏干,仅有少数记录,如在长江下游地区、黄土高原中部偏南显示为“洪水”事件频发表征的湿度增加(朱诚等, 2003; Huang Chunchang et al., 2007,

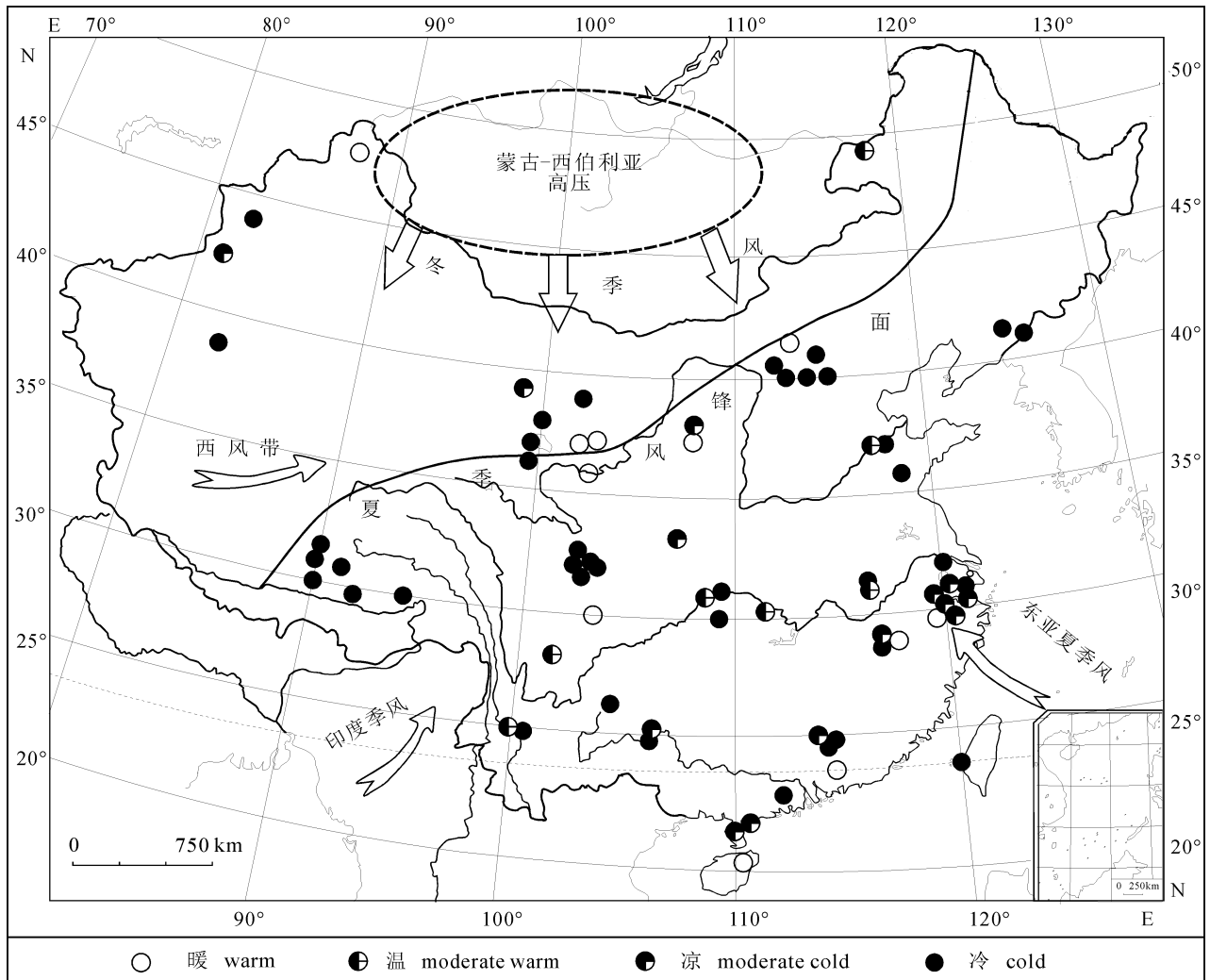


图2 中国 4.0 ka BP 前后温度变化的空间特征

Fig. 2 Spatial characteristics of temperature changes in China around 4.0 ka BP

2010)。

在东北地区,金川泥炭的碳、氧同位素变化记录到了 4.2 ka BP 前后的相对干旱环境(Hong Yetang et al., 2001),而四海龙湾的玛珥湖沉积物也发现了 4.1 ka BP 后代表气候趋于干旱的风尘通量增加(Schettler et al., 2006)。在华北地区,河北太师庄泥炭的孢粉记录显示 4.8 ~ 4.2 ka BP 期间木本孢粉比例降低,指示降水减少(Jin Guiyun et al., 2002)。长江中游神农架地区山宝洞和尚和洞石笋氧同位素特征分别记录到 4.3 ~ 4.0 ka BP 和 4.8 ~ 4.1 ka BP 期间季风降水的显著减少(Shao Xiaohua et al., 2006; Hu Chaoyong et al., 2008)。长江下游巢湖沉积物孢粉的分析显示在 4.8 ~ 2.1 ka BP 期间莎草科比值显著增加,指示明显的降水减少(Wang Xinyuan et al., 2008)。在华南地区,江西定

南泥炭沉积物草本与蕨类花粉比例在大约 6.0 ~ 3.8 ka BP 期间显著增加,表明气候呈逐渐变干的趋势(Zhou Weijian et al., 2005)。在西南地区的贵州,董哥洞石笋的氧同位素记录表明在大约 4.4 ~ 3.9 ka BP 期间曾出现季风降水的显著减少(Wang Yongjing et al., 2005)。在季风—干旱过渡区的内蒙古、青海、黄土高原东北部等区域,在 4.0 ka BP 前后也多出现了降水明显减少、草原面积缩小、湖泊水位急剧降低、湖泊盐度增加的相对干旱时期(Shi Peijun et al., 2003; Chen Chen-Tung et al., 2003; Xiao Jule et al., 2004; Peng Yanjia et al., 2005),如呼伦湖沉积物孢粉蒿属和藜科的比值在 4.4 ~ 3.5 ka BP 期间达到最低,显示为强干旱环境(Wen Ruilin et al., 2010);呼伦贝尔沙地在大约 4.4 ka BP 后,风沙活动相对盛行,气候总体呈变干趋势(Li

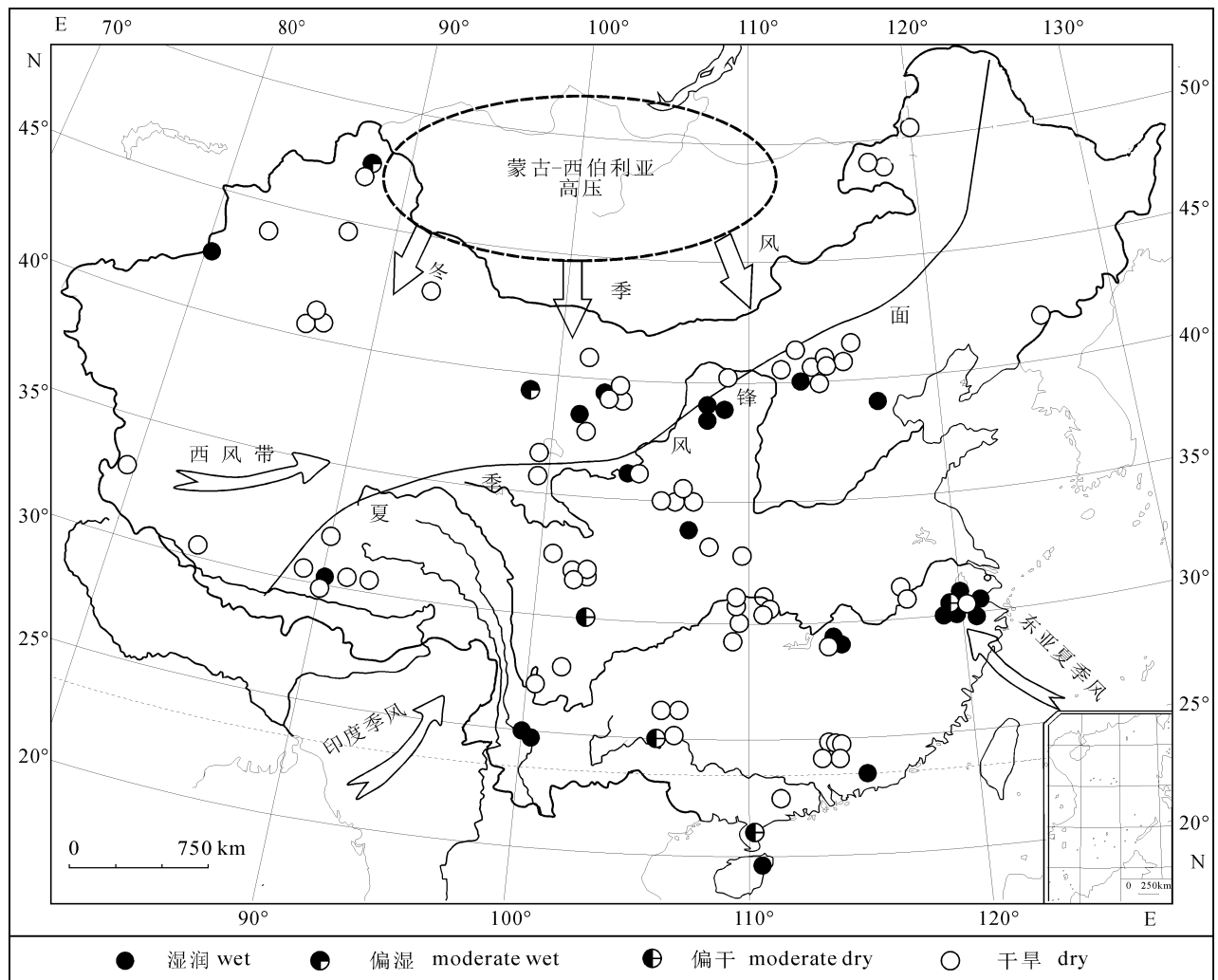


图 3 中国 4.0 ka BP 前后湿度变化的空间特征

Fig. 3 Spatial characteristics of humidity in China around 4.0 ka BP

Shenghua et al., 2006); 岱海在大约 4.0 ka BP 前后也出现代表气候趋干的低湖面 (Sun Qianli et al., 2009)。西北内陆地区在 4.0 ka BP 前后也大多呈现降水减少、气候趋干的状况, 如博斯腾湖在 4.3 ~ 3.9 ka BP 期间由于降水减少, 湖岸退缩, 面积萎缩 (Wünnemann et al., 2003, 2006; Mischke et al., 2006)。巴里坤湖沉积物孢粉分析显示, 4.3 ~ 3.8 ka BP 期间, 研究区植被由荒漠草原/草原植被迅速转变为荒漠植被, 有效湿度显著降低, 为强干旱环境 (Tao Shichen et al., 2010)。在青藏高原地区, 4.0 ka BP 前后多数的湖泊沉积记录也显示气候为偏干或干旱的状况 (Kenji et al., 1995; Gasse et al., 1996; Wang et al., 2002; Morrill et al., 2006; 吴艳宏等, 2007; Zhu Liping et al., 2008)。

然而也有沉积物记录显示在部分地区, 如长江

下游和黄土高原中部偏南地区, 4.0 ka BP 前后洪水事件频发, 呈现相对湿润的气候状况。如在长江三角洲地区的新石器遗址剖面中曾发现 4.0 ka BP 前后存在淤泥层和沼铁泥炭层 (张明华, 1998; 朱诚等, 1996, 2003) 等“古洪水”痕迹, 以及在黄土高原中南部的黄土地层中发现 4.2 ka BP 前后指示“古洪水”存在的平流沉积层等 (Huang Chunchang et al., 2007, 2010)。

2.2 4.0 ka BP 前后的新石器文明变化特征

众多新石器文化遗址的考古记录显示, 中国 4.0 ka BP 前后史前文明大多数呈现衰落趋势, 如齐家文化 (4.3 ~ 3.9 ka BP)、老虎山文化 (4.8 ~ 4.3 ka BP)、龙山文化 (4.5 ~ 4.0 ka BP)、石家河文化 (4.6 ~ 4.0 ka BP) 和良渚文化 (5.3 ~ 4.0 ka BP) 都在这一时期走向衰落甚至消亡 (朱诚等, 1996; 方

修琦等, 1998; 安成邦等, 2003; 方辉, 2003; 李俊等, 2011)。

在季风干旱过渡带的甘肃地区, 4.3 ~ 3.9 ka BP 为齐家文化, 早期粟米种植已有相当规模, 显示了较高的原始农业水平 (Zhou Xinying et al., 2011)。然而在齐家文化后期不仅遗址规模缩小、数量减少, 而且出现了较多的畜牧业活动 (侯光良等, 2004), 反映生产力水平的明显下降。齐家文化与后续以畜牧业为主要经济方式的寺洼文化 (3.3 ~ 2.5 ka BP)、辛店文化 (3.6 ~ 2.6 ka BP) 之间存在着明显的文化断层 (安成邦等, 2003, 2006)。在内蒙古中部的岱海地区, 4.8 ~ 4.2 ka BP 为老虎山文化阶段, 以粟米种植为特征的原始农业文明在岱海流域得到很大发展, 但在约 4.0 ka BP 前后却出现了向游牧生产方式的转变, 大量遗址废弃, 且规模大为缩小, 显示农业文明的中断 (方修琦等, 1998; 连鹏灵等, 2001)。其后续发展的朱开沟文化 (4.0 ~ 3.8 ka BP), 游牧业已转变成为主要的生产方式 (田广金等, 2001)。在黄河下游的海岱地区, 4.5 ~ 4.0 ka BP 期间为龙山文化 (靳桂云等, 2010), 其早中期遗址中可见制作精致的玉器和黑陶器 (高华中等, 2006), 显示当时已经具有较高的生产力水平。但在龙山文化晚期, 以及后续 4.0 ~ 3.6 ka BP 期间的岳石文化时期, 海岱地区的人口数量相对出现锐减, 遗址面积缩小、分布密度也在降低, 陶器制作相对粗糙 (中美两城地区联合考古队, 1997, 2002; 方辉, 2003), 表明龙山文化晚期以来的生产力水平较前期有显著降低。在季风湿润区的长江中游洞庭湖地区, 4.6 ~ 4.0 ka BP 为石家河文化时期 (吴小平等, 1998), 其早中期遗址聚落分布稠密, 大量制作精美的玉器代表了当时较为繁荣的经济状况和较高的生产力水平 (张绪球等, 1992), 但该文化晚期聚落数量明显减少, 分布范围也大为缩小 (王红星, 1998), 到 4.0 ka BP 后出现大量遗址被废弃的现象, 显示文化的突然中断 (李俊等, 2011)。在长江下游的环太湖地区, 5.3 ~ 4.0 ka BP 为良渚文化时期 (陈中原等, 1997), 早中期遗址数量较多, 分布范围相对广泛。古井、干栏式建筑的出现, 以及玉器、陶器等制作精美器皿的普遍使用, 用石犁进行农耕, 显示了良渚时期发达的生产力水平以及多样的生产方式 (张明华, 1998; 申洪源等, 2004; 叶玮等, 2006; 朱丽东, 2011)。然而在大约 4.0 ka BP 后, 良渚文明却出现快速衰亡, 遗址被废弃, 并与后续的马桥文化 (3.8 ~ 3.2 ka BP) 之间形成了明显的文化

断层 (朱诚等, 1996, 2003; Stanley et al., 1999)。

3 讨论

比较 4.0 ka BP 前后不同地区气候变化与同期新石器文化的变化特征, 可以看出各地史前文明的变迁均与气候、环境背景的变化密切相关 (图 4)。

在 4.0 ka BP 前后, 北方干旱一半干旱区普遍出现相对冷干的环境, 水热条件的变化使得这些地区的农业生产受到限制, 畜牧、游牧业取代农业在部分地区成为主要生产方式, 并引发了大规模的人类迁移。如甘青地区以粟米种植为特征的齐家文化 (4.3 ~ 3.9 ka BP) 被以游牧方式为主的寺洼文化 (3.3 ~ 2.5 ka BP) 所取代, 人类向东南低海拔地区迁移, 距河面高程大幅下降, 遗址数量也大为减少 (安成邦等, 2003; 侯光良等, 2009; An Chenbang et al., 2010)。这种人类生产方式的转变显然与该时段气候由半湿润转向干旱, 水热环境适合游牧而非定居耕作密切相关。同样, 内蒙古中部岱海地区以原始农业种植为代表的老虎山文化在约 4.0 ka BP 前后突然衰落, 出现游牧民族特征也对应于 4.4 ~ 3.9 ka BP 期间相对冷干的气候。变冷、变干的气候导致作物种植缺乏必要的积温、生长条件, 被认为是该地区老虎山文化所代表的农业文明难以为继的重要原因。其后续的朱开沟文化 (4.2 ~ 3.5 ka BP) 则以畜牧业为主, 且主要分布在水热条件相对优越的鄂尔多斯偏南地区 (田广金等, 2001)。

黄河中游渭河流域所在的黄土高原地区, 4.3 ka BP 以来气候环境基本以冷干为特征 (Huang Chunchang et al., 2010), 但在河流阶地的黄土地层中可见 4.3 ~ 4.0 ka BP 前后多层标志“古洪水”事件的平流沉积层, 且在這些平流沉积层中往往夹杂有同期的新石器古人类遗存 (Huang Chunchang et al., 2007, 2010, 2011)。因此, 多变气候导致的洪水频发, 被认为是导致该地区新石器文明衰落的主要原因之一。在黄河下游海岱地区, 地质记录揭示 4.5 ~ 2.7 ka BP 期间气候总体表现为冷干特征 (Yi et al., 2003), 同期龙山文化在 4.0 ka BP 左右出现遗址数量的显著减少 (陈栋栋等, 2011), 后续的岳石文化 (4.0 ~ 3.6 ka BP) 聚落密度也明显降低 (方辉, 2003), 并在部分河流阶地遗址剖面发现“古洪水”淤泥层。“古洪水”频发被认为是龙山文化衰落的一个重要因素 (夏正楷等, 2003; Huang Chunchang et al., 2010)。

在季风湿润区的长江中游洞庭湖地区有全新世

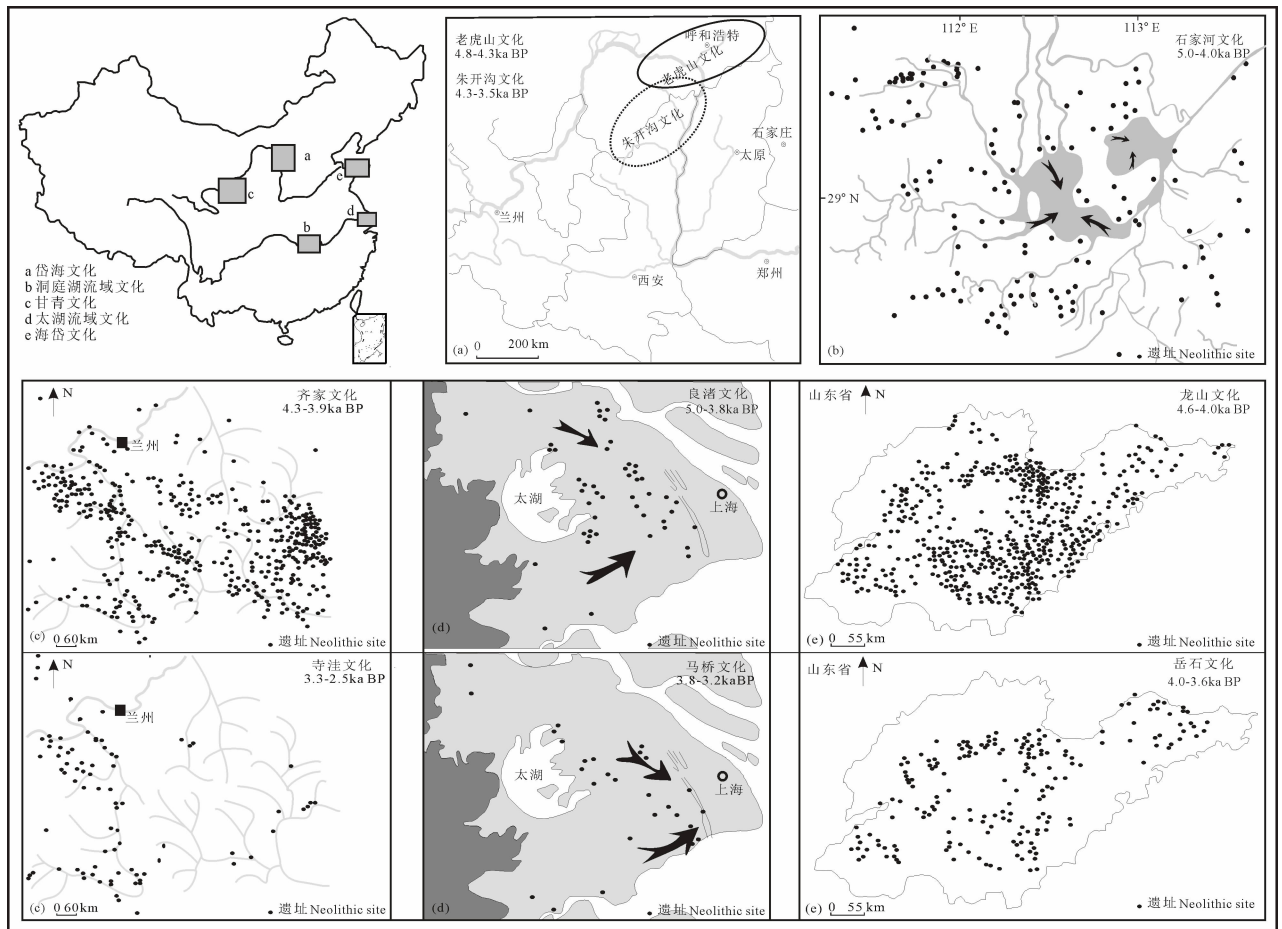


图 4 中国典型气候区 4.0 ka BP 前后古人类遗址空间变化特征

Fig. 4 Spatial distributions of paleo-culture sites of various climatic regions around 4.0ka BP

(a) 岱海文化(方修琦等, 1998); (b) 洞庭湖流域文化(Liu Tao et al., 2011); (c) 甘青文化区(An Chenbang et al., 2005); (d) 环太湖流域文化(陈中原等, 1997); (e) 海岱文化区(陈栋栋等, 2011)
 (a) Daihai Culture Region(Fang Xiuqi et al., 1998); (b) Dongting Lake Culture Region(Liu Tao et al., 2011); (c) Ganqing Culture Region (An Chenbang et al., 2005); (d) Taihu Lake Culture Region(Chen Zhongyuan et al., 1997); (e) Haidai Culture Region (Chen Dongdong et al., 2011)

以来不同时期、连续的新石器人类活动遗迹。各期遗址空间高程分布的变化,显示了人类多次由湖区向周边丘陵迁移的双向过程(Liu Tao et al., 2011)。环洞庭湖流域的石家庄文化早中期(4.6~4.0 ka BP)遗址数量出现剧增,且向湖区腹地扩张,而晚期遗址数量则明显减少且聚落沿着水系往上游迁徙(王红星, 1998),与湖区后来的商周遗址之间形成大约 400 a 的文化间断。石家庄文化期遗址的分布特征反映了洞庭湖湖面先收缩而后扩张的过程,这与邻近区域神农架石笋揭示的 4.8~4.1 ka BP 期间降水减少,以及 4.1~3.7 ka BP 期间季风降水相对增加过程相吻合(Hu Chaoyong et al., 2008)。在季风湿润区的长江下游太湖地区,沉积物孢粉记录

表明 4.8~3.8 ka BP 期间降水相比前期明显减少(Yi et al., 2006),良渚文化时期人类平均居住面高程出现下降(朱诚等, 2003),人类向低洼地带迁移,良渚文化晚期(4.2~4.0 ka BP)遗址高程面降低则更为明显(叶玮等, 2006)。大约 4.0 ka BP 左右良渚文明在环太湖流域衰亡,在该地区良渚遗址剖面中普遍发现代表“古洪水”事件的淤泥层、沼铁泥炭层以及埋藏古树。季风状态失稳导致的洪水频发被指出是良渚文明走向衰亡的主要原因(朱诚等, 1996, 2003; 张明华, 1998; Yu Shiyong et al., 2000)。

全新世以来太阳辐射量变化被认为是全新世气候变化最重要的驱动力(Chambers et al., 1999)。

受地球轨道因素的影响,北半球的太阳辐射量在 6 ka BP 以后逐步降低,减弱了海洋与陆地之间的热力联系,使得北半球季风区出现季风活动减弱,季风降水减少,干旱化发展的趋势(COHMAP members, 1988; Weiss et al., 1993; Gasses et al., 1994, 2000; deMenocal et al., 2000; Cullen et al., 2000; Briks et al., 2002; Gupta et al., 2003; Fleitman et al., 2003; Yuan Daoxian et al., 2004; Wang Yongjin et al., 2005; Peng Yanjia et al., 2005; Kaplan et al., 2006; Maher et al., 2006; 图 5)。大量的研究也表明,全新世中期以来快速的气候冷暖、干湿变化对北半球历史人类活动以及史前文明的转变产生了深远影响(Courty, 1989; Weiss, 1993; Cullen et al., 2000; Wu Wenxiang and Liu Tungsheng, 2004)。然而,作为最为重要的驱动力,气候变化对人类活动影响以及文明转变的作用方式在中国则由于区域自然环境的差异而表现各异。

在中国北部广大的干旱—半干旱区,降水通常被认为是生产力重要的控制性因素(安芷生等, 1993)。大约 4.0 ka BP 前相对湿润环境促进了以粟米种植为代表的旱作农业兴起,这也是以齐家文化、老虎山文化等为代表的北方干旱—半干旱地区农业文明繁荣的重要自然原因。而其在大约 4.0 ka BP 后的衰落恰是气候变冷、变干引起的水热条件恶化、积温不足、农业耕作受阻所致。同时,对于广大的干旱—半干旱区而言,气候转向干旱也相应意味着植被类型的改变,草原植被的扩张更适合畜牧、游牧的生产方式。另外,北方地区一般不具有大的水系与山系阻隔,这也为大规模的人类迁移提供了方便的自然条件,因此,游牧特征在 4.0 ka BP 后的后续文化中得到了更多的体现。

与北方干旱—半干旱区不同,中国东部季风区的水热条件相对优越,非常适合农业活动的开展,在自然条件相对较好的湖泊流域、平原以及河口地区,全新世以来稻作种植为特征的农业文明得到极大发展(Zhao Zhijun and Piperno, 2000; Lu Houyuan et al., 2002; Zong Yongqiang et al., 2007)。气候的冷暖、干湿变化对这些高程较低区域新石器文明变迁的影响主要体现在季风降水、海平面变化等因素引起的水位变化方面。如洞庭湖流域 4.8 ~ 4.1 ka BP 期间降水的相对减少,直接导致湖面的下降,人类活动区域扩展,促使石家河文化早中期人类向湖泊腹地迁移。伴随着 4.1 ka BP 后湖区降水的增加,湖泊开始扩张,石家河文化晚期人类居住范围缩小,人类

向河流上游迁移。

一个值得注意的现象是,在长江下游地区以及黄土高原中部偏南地区,4.0 ka BP 前后新石器文化中常见表征“洪水”的淤泥层、沼铁泥炭层以及平流层沉积,洪水频发通常被认为是导致这些区域新石器文明衰落的重要原因。在黄土高原中部偏南地区,河流阶地的平流沉积层中夹杂有新石器古人类活动遗存,这意味着在频发的“洪水”间歇期间仍有人类活动占据迹象,但在代表“洪水”事件结束的平流沉积层之上的沉积地层中却未发现有人类活动遗存。从收集的古气候、环境资料分析,这些“洪水”事件大多数发生在相对偏冷、偏干的气候背景下,说明频发的“洪水”或是这些区域部分新石器遗址被摧毁的重要原因,而整个区域新石器文明的衰落则更可能是对变冷干、趋于恶化的气候条件的响应。

“洪水”通常由短时间尺度的极端天气气候状况引起,且在东亚大陆通常发生在季风降水较为集中的夏季。在年际尺度上,东亚地区季风降水的变率通常被认为更多地与厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)的活动有关(Whetton and Rutherford, 1994; Charles et al., 1997; McPhaden, 1999),而且对现代长期降水变化的分析也表明,长江中下游极端降水事件与厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)活动有显著的相关性(Jiang Tong et al., 2006; Zhang Qiang et al., 2007)。过去 6 ka BP 以来,ENSO 活动变率呈增大的趋势,尤其在大约 4.5 ~ 3.8 ka BP 期间为较强的厄尔尼诺时期(Haug et al., 2001),这使得北半球的热带辐合带(ITCZ)南移,从而导致东亚季风减弱,夏季风降水则相对集中在长江中下游地区。因此,这种在东亚季风趋弱,气候趋于偏干的背景下(Selvaraj et al., 2007),长江中下游“洪水”事件的频发很可能是 ENSO 活动导致的季风降水季节性差异加大的结果,其对新石器文化的影响显然不能脱离趋冷、趋干的气候变化背景。同样在山东半岛地区,龙山文化在 4.0 ka BP 左右出现遗址数量的显著减少以及后续的岳石文化(4.0 ~ 3.6 ka BP)聚落密度的降低,也很难用在部分河流阶地或低地遗址剖面发现的淤泥层表征的“洪水”事件来解释。因为毕竟不仅在地势较低的平原地带,而且在地势较高的丘陵地带同时出现了遗址数量和遗址密度的降低,这显然也是大的区域性气候变化因素的结果,脱离不了气候趋干的背景。

在东部的沿海地区,海平面的变化被认为是影响新石器时期人类活动的决定性因素,跨湖桥、河姆

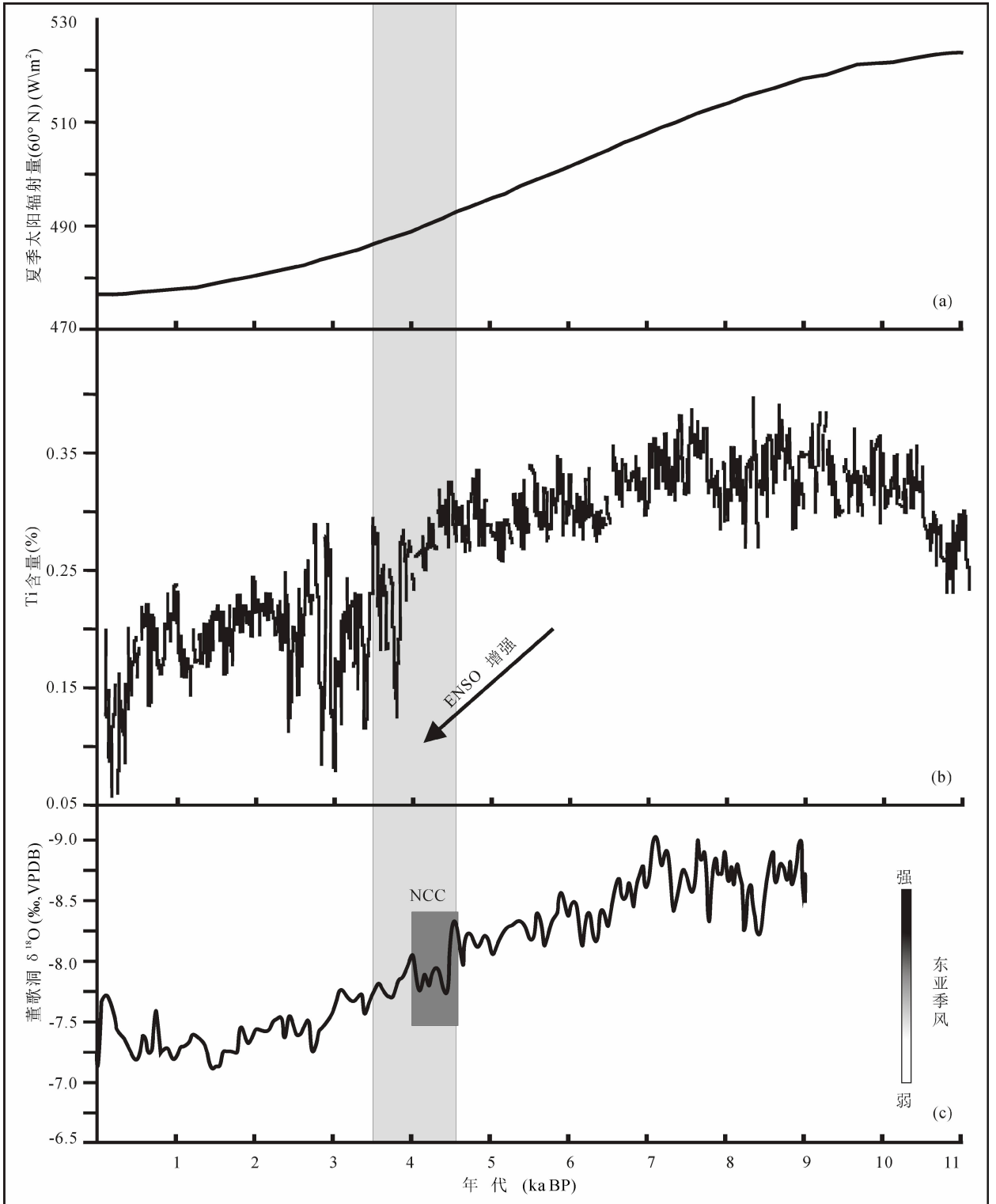


图 5 4.0 ka BP 前后 60°N 夏季太阳辐射、季风降水以及厄尔尼诺—南方涛动 (ENSO) 事件

Fig. 5 The correlation between summer solar radiation (60°N), monsoon precipitation and El Nino—Southern Oscillation (ENSO) variability

- (a) 60°N 夏季太阳辐射量 (Berger and Loutre, 1991);
 - (b) Cariaco 盆地沉积物 Ti 含量 (Haug et al., 2001);
 - (c) 董歌洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素 (NCC: 中国新石器文明的崩溃) (Wang Yongjin et al., 2005)
- (a) Summer solar radiation (60°N) (Berger and Loutre, 1991); (b) Ti content of Cariaco Basin sediments (Haug et al., 2001); (c) $\delta^{18}\text{O}$ isotope of Dongge Cave stalagmite (NCC: the collapse of Neolithic Culture of China) (Wang Yongjin et al., 2005)

渡、马家浜、崧泽、良渚等文化在 4.0 ka BP 前在长江河口地区和杭州湾地区的迅速发展及 6.0 ka BP 以来东海海平面上升相对趋缓 (Chen Yijian et al., 1985) 的大背景密切相关。虽然也在良渚文化层上发现过表征“洪水”事件的淤泥层,但是多个地质记录仍显示 4.0 ka BP 前后并未出现季风降水的增加,而是呈现相比前期减少的趋势 (Yi et al., 2006; Wang Xinyuan et al., 2008)。同时,在环太湖地区的碟形洼地当时仍有史前古人类活动的遗址分布,因此,即便有“洪水”,其规模也应该有限。多个遗址剖面中,代表“洪水”的淤泥层出现也很可能是由于 4.0 ka BP 前后海平面小幅上升 (申洪源等, 2004; 朱丽东等, 2011; 郑云飞等, 2011), 流域排水不畅,加之季风降水季节性分布不均,引起河流频繁改道所致,而可能非整个太湖流域的“大洪水”引起。

4 结论

中国大陆不同地区的古气候、古环境记录显示, 4.0 ka BP 前后气候总体上以降温为特征,而降水的变化因为不同地区自然下垫面差异而相对复杂。在降水总体趋于减少的背景下,其季节差异性变化更为显著。总体上看, 4.0 ka BP 前后,地质记录显示,中国气候似乎并不呈现“南湿润北干旱”的空间分布特征。在黄土高原中部偏南以及东部沿海部分地区出现的所谓“洪水”事件表征的湿度增加以及侵蚀加剧的情况,或与 4.0 ka BP 前后季风降水的季节性差异加大,以及海平面变化导致的地势变缓、河流频繁改道有关。中国北部、中原以及长江中下游地区史前文明在 4.0 ka BP 前后出现的普遍衰退,则表明了空间区域尺度上,气候、环境的变化更可能是 4.0 ka BP 前后史前文明变迁的驱动力。目前,对于中国东部“洪水”事件对新石器文化变迁影响的研究更多地集中在沉积学、考古地层学上的证据,这些地区高分辨率气候、环境记录的获得,将有助于从更为完整、宽阔的视野,加深人们对史前新石器人类活动与气候变化响应和适应关系的理解。

参 考 文 献 / References

安成邦,冯兆东,唐领余,陈发虎. 2003. 甘肃中部 4000 年前环境变化与古文化变迁. 地理学报, 58: 743 ~ 748.
 安成邦,王琳,吉笃学,陈发虎,王鹏. 2006. 甘青文化区新石器文化的时空变化和可能的环境动力. 第四纪研究, 26: 923 ~ 927.
 安芷生, S. 波特, 吴锡浩, J. 库茨巴赫, 王苏民, 刘晓东, 李小强, 王建, 周卫健, 肖家仪, 刘俊峰, 陆继军. 1993. 中国中、东部全新世气候

适宜期与东亚夏季风变迁. 科学通报, 38(14): 1302 ~ 1305.
 陈栋栋, 彭淑贞, 张伟, 韩军青, 丁敏. 2011. 山东全新世典型气候事件的区域响应及其对海岱文明发展的影响. 地理科学进展, 30(7): 846 ~ 852.
 陈秀玲, 李志忠, 凌智永, 靳建辉, 曹相东. 2010. 新疆伊犁河谷晚全新世以来的风砂沉积与环境演化. 海洋地质与第四纪地质, 30(6): 35 ~ 42.
 陈中原, 洪雪晴, 李山, 王露, 史晓明. 1997. 太湖地区环境考古. 地理学报, 52(2): 131 ~ 137.
 范斌, 许世远, 俞立中, 蒋辉, 冉莉华. 2006. 巢湖沉积植硅体组合及中全新世以来的环境演变. 湖泊科学, 18(3): 273 ~ 279.
 方辉. 2003. 岳石文化衰落原因蠡测. 文史哲, 3: 139 ~ 143.
 方修琦, 苏宁. 1998. 降温是 4.3kaBP 岱海老虎山文化中断的可能原因. 人文地理, 13: 71 ~ 76.
 高华中, 朱诚, 曹光杰. 2006. 山东沂沭河流域 2000BC 前后古文化兴衰的环境考古. 地理学报, 61: 255 ~ 261.
 顾明光, 陈大忠, 卢成忠, 汪庆华, 覃兆松, 张素君. 2006. 浙江湘湖地区全新世孢粉记录及其古环境意义. 中国地质, 33(5): 1144 ~ 1148.
 顾明光, 陈忠大, 汪庆华, 覃兆松, 张素君, 梁河, 彭振宇. 2005. 杭州湘湖剖面全新世沉积物的地球化学记录及其地质意义. 中国地质, 32(1): 70 ~ 74.
 郭正堂, Petit-Maire N, 刘东生. 1999. 全新世期间亚洲和非洲干旱环境的短尺度变化. 古地理论, 1(1): 68 ~ 74.
 侯光良, 刘峰贵, 刘翠华, 方修琦. 2009. 中全新世甘青地区古文化变迁的环境驱动. 地理学报, 64: 53 ~ 58.
 侯光良, 刘峰贵. 2004. 青海东部史前文化对气候变化的响应. 地理学报, 59: 841 ~ 846.
 黄春长, 庞奖励, 黄萍, 侯春红, 韩宇平. 2002. 关中盆地西部黄土台塬全新世气候事件研究. 干旱区地理, 25(1): 10 ~ 15.
 蒋庆丰, 沈吉, 刘兴起, 张恩楼. 2007. 乌伦古湖介形组合及其壳体同位素记录的全新世气候环境变化. 第四纪研究, 27(3): 382 ~ 391.
 靳桂云, 王传明. 2010. 海岱地区新石器时代气候与环境. 古地理论, 12: 355 ~ 363.
 李俊, 王淑云, 莫多闻. 2011. 6000aBP 以来洞庭湖沉积记录的环境演变及其同人类活动的关系. 北京大学学报(自然科学版), 47: 1041 ~ 1048.
 李森, 廖肖霞, 王贵勇. 2009. 近 40ka 来海南岛海岸沙地气候与环境演变. 地理研究, 28(5): 1235 ~ 1242.
 李廷勇, 李红春, 袁道先, 杨琰, 王建力, 王昕亚, 李俊云, 覃嘉铭, 张美良, 林玉石. 2006. 重庆新屋洞 XY6 石笋 4.5ka 以来高分辨率 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 记录的气候变化. 中国岩溶, 25(2): 95 ~ 100.
 李小强, 周卫建, 安芷生, 董光荣. 2000. 沙漠/黄土过渡带 13kaBP 以来季风演化的古植被记录. 植物学报, 42(8): 868 ~ 872.
 连鹏灵, 方修琦. 2001. 岱海地区原始农业文化的兴衰与环境演变的关系. 地理研究, 20: 623 ~ 628.
 林瑞芬, 卫克勤, 程致远, 王志祥, Gasse F, Fontes J C, Gibert E, Tucholka P. 1996. 新疆玛纳斯湖沉积柱样的古气候古环境研究. 地球化学, 25(1): 63 ~ 72.
 刘金陵. 1989. 长白山区孤山屯沼泽地 13000 年以来的植被和气候变化. 古生物学报, 28(4): 495 ~ 511.
 罗丽萍, 朱利东, 向芳, 杨文光, 阚媛珂, 罗虹, 张擎, 朱章义. 2008. 成都平原 4000aBP 以来的孢粉记录与环境变化. 古生物学报, 47(2): 195 ~ 202.
 罗攀, 郑卓, 杨小强. 2006. 海南岛双池玛珥湖全新世磁化率及其环境意义. 热带地理, 26(3): 211 ~ 217.
 马春梅, 朱诚, 郑朝贵, 尹茜, 赵志平. 2008. 中国东部山地泥炭高分辨

- 率腐殖化度记录的晚冰期以来气候变化. 中国科学(D辑),38(9):1078~1091.
- 莫多闻,李非,李水城,孔昭宸. 1996. 甘肃葫芦河流域中全新世环境演化及其对人类活动的影响. 地理学报,51(1):59~67.
- 彭红霞,石超艺,巍源,黄长生. 2003. 5ka B. P. 鄱阳湖地区古气候演化的有机碳稳定同位素记录. 华中师范大学报(自然科学版),37(1):123~125.
- 申洪源,朱诚,贾玉连. 2004. 太湖流域地貌与环境变迁对新石器文化传承的影响. 地理科学,24:580~585.
- 申洪源,贾玉连,郭峰. 2010. 内蒙古黄旗海湖泊沉积物磁化率特征及其环境意义. 干旱区地理,33(2):151~157.
- 沈吉,杨丽原,羊向东,Matumoto R,童国榜,朱育新,张振克,王苏民. 2004. 全新世以来云南洱海流域气候变化与人类活动的湖泊沉积记录. 中国科学(D辑),34(2):130~138.
- 舒军武,王伟铭,陈炜. 2007. 太湖平原西北部全新世以来植被与环境变化. 微体古生物报,24(2):210~221.
- 覃嘉铭,袁道先,程海,林玉石,张美良,王福星,王华. 2004. 新仙女木及全新世早中期气候突变事件:贵州茂兰石笋氧同位素记录. 中国科学(D辑),34(1):69~74.
- 唐领余,沈才明,廖淦标,Overpeck J T. 1999. 西藏两个小湖高分辨率的花粉记录. 植物学报,41(8):896~902.
- 田广金,唐晓峰. 2001. 岱海地区距今 7000~2000 年间人地关系研究. 中国历史地理论丛,16:4~12.
- 汪世兰,陈发虎,曹继秀. 1991. 兰州河谷盆地近 1 万年的孢粉组合及气候变迁. 冰川冻土,13(4):307~314.
- 王璋瑜,孙湘君. 1997. 内蒙古茶素齐泥炭剖面全新世古环境变迁的初步研究. 科学通报,42(5):514~518.
- 王红星. 1998. 长江中游地区新石器时代遗址分布规律、文化中心的转移与环境变迁的关系. 江汉考古,1:53~61.
- 王华,洪业汤,朱咏焯,林庆华,冷雪天,毛绪美. 2003. 红原泥炭腐殖化度记录的全新世气候变化. 地质地球化学,31(2):51~56.
- 王绍鸿,赵希涛. 1997. 江苏建湖庆丰剖面全新世有孔虫与海平面变化. 福建师范大学学报(自然科学版),13(1):105~111.
- 邬光剑,潘保田,管清玉,王建民,赵志军. 1998. 祁连山东段北麓近 10 ka 来的气候变化初步研究. 中国沙漠,18(3):193~200.
- 吴敬禄,王苏民,王洪道. 1996. 新疆艾比湖全新世以来的环境变迁与古气候. 海洋与湖沼,27(5):524~530.
- 吴小平,吴建民. 1998. 洞庭湖区新石器时代遗址的分布与古环境变迁的关系. 东南文化,1:35~40.
- 吴艳宏, Lücke A, Wünnemann B, 李世杰,王苏民. 2007. 青藏高原中部全新世气候变化的湖泊沉积地球化学记录. 中国科学(D辑),37(9):1185~1191.
- 吴永红,杨太保,于永涛,刘晓燕,安聪荣,李永飞,宿星. 2006. 河西走廊全新世气候变迁与古文化响应. 干旱区研究,23(4):650~653.
- 夏郭胜,马玉贞,陈发虎,王建民. 1998. 秦安大地湾高分辨率全新世植被演变与气候变迁初步研究. 兰州大学学报(自然科学版),34(1):119~127.
- 夏正楷,杨晓燕. 2003. 我国北方 4kaB. P. 前后异常洪水事件的初步研究. 第四纪研究,23(6):667~674.
- 鲜本忠,姜在兴. 2005. 黄河三角洲地区全新世环境演化及海平面变化. 海洋地质与第四纪地质,25(3):1~7.
- 萧家仪,吕海波,周卫健,赵志军,郝瑞辉. 2007. 末次盛冰期以来江西大湖孢粉植被与环境演变. 中国科学(D辑),37(6):789~797.
- 谢远云,李长安,王秋良,殷鸿福. 2006. 江汉平原 9.0kaB. P. 以来的气候演化:来自江陵剖面沉积物记录. 地理科学,26(2):199~203.
- 谢振东,冯绍辉,黄文虹,罗意,冯昌和,马振兴. 2006. 江西鄱阳湖区 ZK01 钻孔孢粉记录及其古环境信息. 资源调查与环境,27(1):60~69.
- 薛积彬,钟巍,彭晓莹,赵引娟,甄治国,刘伟,郑琰明. 2007. 南岭东部大湖泥炭沉积记录的古气候. 海洋地质与第四纪地质,27(5):105~113.
- 羊向东,王苏民. 1996. 呼伦湖、乌伦古湖全新世植物群发展与气候环境变化. 海洋与湖沼,27(1):67~72.
- 叶玮,李凤全,沈叶琴,朱丽东,王天阳,杨立辉. 2006. 良渚文化期自然环境变化与人类文明发展的耦合. 浙江师范大学学报(自然科学版),29:455~460.
- 于雪峰,周卫建, Franzen L G, 鲜锋,程鹏, Tim Jull A J. 2006. 青藏高原东部全新世冬夏季风变化的高分辨率泥炭记录. 中国科学(D辑),36(2):182~187.
- 张美良,林玉石,朱晓燕,覃嘉铭,杨琰,罗贵荣. 2006. 云南宁蒺地区全新世晚期气候变化的石笋记录. 海洋地质与第四纪地质,26(1):30~40.
- 张明华. 1998. 良渚文化突然消亡的原因是洪水泛滥. 江汉考古,1:62~65.
- 张绪球. 1992. 石家河文化的玉器. 江汉考古,10:56~60.
- 张振克,沈吉,羊向东,朱育新,夏威夷,吴瑞金. 2008. 近 8ka 来云南洱海湖泊沉积记录的气候变化与夏季印度季风强弱变化的关系. 亚热带资源与环境学报,3(3):1~6.
- 赵宝成,王张华,陈中原,吴国璋. 2007. 太湖平原蝶形洼地沉积物记录的距今 8000 年以来植被、气候与地貌演变. 古地理学报,9(3):321~330.
- 郑云飞,孙国平,陈旭高. 2011. 全新世中期海平面波动对稻作生产的影响. 科学通报,56(34):2888~2896.
- 中美两城地区联合考古队. 1997. 山东日照市两城地区的考古调查. 考古,4:1~15.
- 中美两城地区联合考古队. 2002. 山东日照地区系统区域调查的新收获. 考古,5:10~18.
- 朱诚,马春梅,张文卿,郑朝贵,唐领余,卢雪峰,刘克新,陈惠中. 2006. 神农架大九湖 15.753kaB. P. 以来的孢粉记录和环境演变. 第四纪研究,26(5):814~826.
- 朱诚,宋健. 1996. 上海马桥遗址文化断层成因研究. 科学通报,41(2):148~152.
- 朱诚,张强,张芸,张之恒,沈明洁. 2003. 长江三角洲长江以北地区全新世以来人地关系的环境考古研究. 地理科学,23:705~712.
- 朱丽东,冯义雄,叶玮,王天阳,李凤全,李黎霞. 2011. 良渚时期文化发展与海平面变化. 地理科学进展,30:121~128.
- An Chenbang, Feng Zhaodong, Tang Lingyu. 2003. Evidence of a humid mid-Holocene in the western part of Chinese Loess Plateau. Chinese Science Bulletin, 48(22):2472~2479.
- An Chenbang, Ji Duxue, Chen Fahu, Dong Guanghui, Wang Hui, Dong Weimiao, Zhao Xueye. 2010. Evolution of prehistoric agriculture in central Gansu Province, China: A case study in Qin'an and Li County. Chinese Science Bulletin, 55:1925~1930.
- An Chenbang, Tang Lingyu, Barton L, Chen Fahu. 2005. Climate change and cultural response around 4000 cal yr B. P. in the western part of Chinese Loess Plateau. Quaternary Research, 63:347~352.
- Berger A, Loutre M F. 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million years. Quaternary Science Reviews,4:297~317.
- Birks C J A, Koc N. 2002. A high-resolution diatom record of late-Quaternary sea-surface temperatures and oceanographic conditions from the eastern Norwegian Sea. Boreas, 31:323~344.
- Bond G, Kromer B, Beer J, Muscheler R, Evans M N, Showers W,

- Hoffmann S, Bond R L, Hajdas I, Bonani G. 2001. Persistent solar influence on north Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294:2130 ~ 2136.
- Bond G, Showers W, Cheseby M, Lotti R, Almasi P, deMenocal P, Priore P, Cullen H, Hajdas I, Bonani G. 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climate. *Science*, 278:1257 ~ 1266.
- Cai Yanjun, Tan Liangcheng, Cheng Hai, An Zhisheng, Edwards R L, Kelly M J, Kong Xinggong, Wang Xianfeng. 2010. The variation of summer monsoon precipitation in central China since the last deglaciation. *Earth and Planetary Science Letters*, 291:21 ~ 31.
- Cai Yanjun, Zhang Meiliang, Peng Zicheng, Lin Yushi, An Zhisheng, Zhang Zhaofeng, Cao Yunning. 2001. The $\delta^{18}\text{O}$ variation of a stalagmite from Qixing Cave, Guizhou Province and indicate change during the Holocene. *Chinese Science Bulletin*, 46(22): 1904 ~ 1908.
- Chambers F M, Ogle, Blackford M I. 1999. Palaeoenvironmental evidence for solar forcing of Holocene climate: linkages to solar science. *The Holocene*, 2:181 ~ 204.
- Charles C D, Hunter D E, Fairbanks R G. 1997. Interaction between the ENSO and the Asian monsoon in a coral record of tropical climate. *Science*, 277:925 ~ 928.
- Chen Chen-Tung A, Lan Hsin-Chi, Lou Jiann-Yuh, Chen Yancheng. 2003. The Dry Holocene Megathermal in Inner Mongolia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193: 181 ~ 200.
- Chen Fahu, Cheng Bo, Zhao Yan, Zhu Yan, Madsen D B. 2006. Holocene environmental change inferred from a high-resolution pollen record, Lake Zhuyeze, arid China. *The Holocene*, 16(5): 675 ~ 684.
- Chen Fahu, Shi Qi, Wang Jianmin. 1999. Environmental changes documented by sedimentation of Lake Yiema in arid China since the Late Glaciation. *Journal of Paleolimnology*, 22:159 ~ 169.
- Chen Fahu, Zhu Yan, Li Jijun, Shi Qi, Jin Liya, Wunemann B. 2001. Abrupt Holocene changes of the Asina monsoon at millennial- and centennial-scales: Evidence from lake sediment document in MinQin Basin, NWChina. *Chinese Science Bulletin*, 46(23): 1942 ~ 1947.
- Chen Wei, Wang Weiming, Dai Xuerong. 2009. Holocene vegetation history with implications of human impact in the Lake Chaohu area, Anhui Province, East China. *Veget Hist Archaeobot*, 18:137 ~ 146.
- Chen Wei, Wang Weiming. 2011. Middle—Late Holocene vegetation history and environment changes revealed by pollen analysis of a core at Qingdao of Shandong Province, East China. *Quaternary international*, 254:68 ~ 72.
- Chen Yijian, Peng Gui, Jiao Wengiang. 1985. Radiocarbon dates from the East China Sea and their geological implications. *Quaternary Research*, 24:197 ~ 203.
- Chen Zhongyuan, Wang Zhanghua, Schneiderman J, Tao Jin, Cai Yongli. 2005. Holocene climate fluctuations in the Yangtze delta of eastern China and the Neolithic response. *The Holocene*, 15(6): 915 ~ 924.
- COHMAP Members. 1988. Climatic changes of the last 18,000 years: Observations and model simulations. *Science*, 241:1043 ~ 1052.
- Cosford J, Qing Hairuo, Eglinton B, Matthey D, Yuan Daoxiang, Zhang Meiliang, Cheng Hai. 2008. East Asian monsoon variability since the Mid-Holocene recorded in a high-resolution, absolute-dated aragonite speleothem from eastern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 275:296 ~ 307.
- Courty M A, Goldberg P, Macphall R. 1989. *Soils and Micromorphology in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press, 112 ~ 128.
- Cullen H M, deMenocal P B, Hemming S. 2000. Climate change and the collapse of the Akkadian Empire: evidence from the deep sea. *Geology*, 28:379 ~ 382.
- Curtis J H, Hodell D A, Brenner M. 1996. Climate variability on the Yucatan Peninsula (Mexico) during the past 3500 years, and implications for Maya cultural evolution. *Quaternary Research*, 46:37 ~ 47.
- David J L, Baruch S, Marion F, Michaela S, Malin K, Kerry G, Li Xiangdong, Shen Chengde, Goran P, Zhang Gan, Darling W G, Dominik W. 2009. The influence of climate, hydrology and permafrost on Holocene peat accumulation at 3500m on the eastern Qinghai Tibetan Plateau. *Quaternary Science Reviews*, 28: 3303 ~ 3314.
- De Menocal P B. 2001. Cultural responses to climate change during the last late Holocene. *Science*, 292: 667 ~ 673.
- De Menocal P, Prtiz J, Guilderson T, Sarnthein M. 2000. Coherent high- and low-latitude climate variability during the Holocene warm period. *Science*, 288:2198 ~ 2202.
- Dodson J R, Hickson S, Khoo R, Li Xiaoqiang, Jimina T, Zhou Weijian. 2006. Vegetation and Environment History for the Past 14000 yr BP from Dingnan, Jiangxi Province, South China. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48(9): 1018 ~ 1027.
- Dykoski C A, Edwards R L, Cheng Hai, Yuan Daoxian, Cai Yanjun, Zhang Meiliang, Lin Yushi, Qing Jiaming, An Zhisheng, Revenaugh J. 2005. A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233:71 ~ 86.
- Fleitmann D, Burns S J, Mudelsee M, Neff U, Kramers J, Mangini A, Matter A. 2003. Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from Southern Oman. *Science*, 300: 1737 ~ 1739.
- Gasse F, Campo E V. 1994. Abrupt post-glacial climate events in West Asia and North Africa monsoon domains. *Earth and Planetary Science Letters*, 126: 435 ~ 456.
- Gasse F, Fontes J C, Campo E V, Wei K. 1996. Holocene environmental changes in Bangong Co basin (Western Tibet). Part 4: Discussion and conclusions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 120:79 ~ 92.
- Gasse F. 2000. Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19:189 ~ 211.
- Grosjean M, Neff U, Cartajena I, Merrerli B. 1997. Mid-Holocene Climate and Culture Change in the Atacama Desert, Northern Chile. *Quaternary Research*, 48:239 ~ 246.
- Guo Lanlan, Feng Zaidong, Li Xinqing, Liu Lianyou, Wang Lixia. 2007. Holocene climatic and environmental changes recorded in Baahar Nur Lake core in the Ordos Plateau, Inner Mongolia of China. *Chinese Science Bulletin*, 52(7): 959 ~ 966.
- Guo Zhengtang T, Ruddiman William F, Hao Qingzhen, Wu Haibin, Qiao Yansong, Zhu Rixiang, Peng Shuzhen, Wei Jianjing, Yuan Baoyin, Liu Tungsheng. 2002. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China. *Nature*, 416:159 ~ 163.
- Gupta A K, Anderson D M, Overpeck J T. 2003. Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean. *Nature*, 421: 354 ~ 357.
- Haug G H, Hughen K A, Sigman D M, Peterson L C, Rohl U. 2001.

- Southward Migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene. *Science*, 293:1304 ~ 1308.
- Herrmann M, Lu Xiaomiao, Berking J, Brigitta S, Yao Tandong, Volker M. 2010. Reconstructing Holocene vegetation and climate history of Nam Co area (Tibet), using pollen and other palynomorphs. *Quaternary International*, 218:45 ~ 57.
- Herzschuh U, K rschner H, Mischke S. 2006. Temperature variability and vertical vegetation belt shifts during the last ~50,000 yr in the Qilian Mountains (NE margin of the Tibetan Plateau, China). *Quaternary Research*, 66:133 ~ 146.
- Herzschuh U, Tarasov P, Wünnemann B, Hartmann K. 2004. Holocene vegetation and climate of the Alashan Plateau, NW China, reconstructed from pollen data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 211:1 ~ 17.
- Herzschuh U, Winter K J, Wünnemann B, Li Shijie. 2006. A general cooling trend on the central Tibetan Plateau throughout the Holocene recorded by the Lake Zigetang pollen spectra. *Quaternary International*, 154 ~ 155:113 ~ 121.
- Herzschuh U. 2006. Palaeo-moisture evolution in monsoonal Central Asia during the last 50,000 years. *Quaternary Science Reviews*, 25:163 ~ 178.
- Hong Yetang, Wang Zhiguo, Jiang Hongbo, Lin H Qinghua, Hong Bing, Zhu Yongxuan, Wang Yu, Xu Luoshan, Leng Xuetian, Li Danding. 2001. A 6000-year record of changes in drought and precipitation in northeastern China based on a $\delta^{13}\text{C}$ time series from peat cellulose. *Earth and Planetary Science Letters*, 185: 111 ~ 119.
- Hu Chaoyong, Henderson G M, Huang Junhua, Xie Shucheng, Sun Ying, Kathleen R J. 2008. Quantification of Holocene Asian monsoon rainfall from spatially separated cave records. *Earth and Planetary Science Letters*, 266: 221 ~ 232.
- Huang Chunchang, Pang Jiangli, Su Hongxia, Yang Qianjin, Jia Yaofeng. 2007. Climatic and anthropogenic impacts on soil formation in the semiarid loess tablelands in the middle reaches of the Yellow River, China. *Journal of Arid Environments*, 71:280 ~ 298.
- Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, Su Hongxia, Jia Yaofeng. 2011. Extraordinary floods related to the climatic event at 4200 a BP on the Qishuihe River, middle reaches of the Yellow River, China. *Quaternary Science Reviews*, 30:460 ~ 468.
- Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, Zhou Yali, Su Hongxia, Li Yuqing. 2010. Extraordinary Floods of 4100 ~ 4000 a BP recorded at the Late Neolithic Ruins in the Jinghe River Gorges, Middle Reach of the Yellow River, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 289:1 ~ 9.
- Jarvis D I. 1993. Pollen evidence of changing Holocene monsoon climate in Sichuan Province, China. *Quaternary Research*, 39 (3): 325 ~ 337.
- Jiang Tong, Zhang Qiang, Zhu Deming, Wu Yijin. 2006. Yangtze floods and droughts (China) and teleconnections with ENSO activities (1470 ~ 2003). *Quaternary International*, 144:29 ~ 37.
- Jiang Wenying, Guo Zhengtang, Sun Xianjun, Wu Haibin, Chu Guoqiang, Yuan Baoyin, Chritine H, Guiot J. 2006. Reconstruction of climate and vegetation changes of Lake Bayanchagan (Inner Mongolia): Holocene variability of the East Asian monsoon. *Quaternary Research*, 65:411 ~ 420.
- Jiang Wenying, Suzanne A G Leroy, Neil O, Chu Guoqiang, Wang Luo, Liu Jiaqi. 2008. Natural and anthropogenic forest fires recorded in the Holocene pollen record from a Jinchuan peat bog, northeastern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 261: 47 ~ 57.
- Jin Guiyun, Liu Dongsheng. 2002. Mid-Holocene climate change in North China, and the effect on cultural development. *Chinese Science Bulletin*, 47(5):408 ~ 413.
- Kaplan M R, Wolfe A P. 2006. Spatial and temporal variability of Holocene temperature in the North Atlantic region. *Quaternary Research*, 65: 223 ~ 231.
- Kenji Kashiwaya, Toshiyuki Masuzawa, Hayao Morinaga, Katsumi Yaskawa, Yuan Baoyin, Liu Jiaqi, Gu Zhaoyan. 1995. Changes in hydrological conditions in the central Qing-Zang (Tibetan) Plateau inferred from lake bottom sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 135:31 ~ 39.
- Kuper R, Kröpelin S. 2006. Climate-Controlled Holocene Occupation in the Sahara: Motor of Africa's Evolution. *Science*, 313:803 ~ 807.
- Li Bin, Yuan Daoxian, Stein-Erik L, Qin Jiaming, Lin Yushi. 1998. The Younger Dryas and Event and Holocene Climate Fluctuations Record in a Stalagmite from the Panlong Cave of Guilin. *Acta Geologica Sinica*, 72(4):455 ~ 467.
- Li Shenghua, Sun Jimin. 2006. Optical dating of Holocene dune sands from the Hulun Buir Desert, northeastern China. *The Holocene*, 16 (3):457 ~ 462.
- Li Xiaoqiang, Zhou Jie, Shen Ji, Weng Chenyu, Zhao Hongli, Sun Qianli. 2004. Vegetation history and climatic variations during the last 14 ka BP inferred from a pollen record at Daihai Lake, north—central China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 132:195 ~ 205.
- Liew P M, Lee C Y, Kuo C M. 2006. Holocene thermal optimal and climate variability of East Asian monsoon inferred from forest reconstruction of a subalpine pollen sequence, Taiwan. *Earth and Planetary Science Letters*, 250: 596 ~ 605.
- Liu Hongyuan, Xu Lihong, Cui Haiting. 2002. Holocene History of Desertification along the Woodland—Steppe Border in Northern China. *Quaternary Research*, 57:259 ~ 270.
- Liu Jiaqi, Lü Houyuan, Negendank J, Mingram J, Luo Xiangjun, Wang Wenyuan, Chu Guoqiang. 2000. Periodicity of Holocene climate variations in the Huguangyan Maar Lake. *Chinese Science Bulletin*, 45: 1712 ~ 1717.
- Liu Tao, Chen Zhongyuan, Sun Qianli, Brian F. 2011. Migration of Neolithic settlements in the Dongting Lake area of the middle Yangtze River basin, China: Lake-level and monsoon climate responses. *The Holocene*, 1 ~ 9.
- Liu Xingqi, Herzschuh U, Shen Ji, Jiang Qingfen, Xiao Xiayun. 2008. Holocene environmental and climatic changes inferred from Wulungu Lake in northern Xinjiang, China. *Quaternary Research*, 70:412 ~ 425.
- Liu Xinqing, Dong Hailiang, Jason A R, Matsumoto R, Yang Bo, Wang Yongbo. 2008. Evolution of Chaka Salt Lake in NW China in response to climatic change during the Latest Pleistocene—Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 27:867 ~ 879.
- Long Hao, Lai Zhongping, Wang Naiang, Li Yu. 2010. Holocene climate variations from Zhuyeze terminal lake records in East Asian monsoon margin in arid northern China. *Quaternary Research*, 74:46 ~ 56.
- Lu Houyuan, Liu Zhenxia, Wu Naiqin, Berne S, Saito Y, Liu Baozhu, Wang Luo. 2002. Rice domestication and climatic change: phytolith evidence from East China. *Boreas*, 31:378 ~ 385.
- Ma Chunmei, Zhu Cheng, Zheng Chaogui, Wu Chunlin, Guan Yong, Zhao Zhiping, Huang Linyan, Huang Run. 2008. High-resolution geochemistry records of climate changes since late-glacial from

- Dajiuhu peat in Shennongjia Mountains, Central China. *Chinese Science Bulletin*, 53(1):28~41.
- Maher B A, Hu Mengyu. 2006. A high-resolution record of Holocene rainfall variations from the western Chinese Loess Plateau: antiphase behaviour of the African/Indian and East Asian summer monsoons. *The Holocene*, 3:309~319.
- Mayewski P A, Rohling E E, Stager J C, Wibjörn Karlén, Maasch K, Meecker L D, Meyerson E A, Gasse F, Kreveld S V, Holmgren K, Julia Lee-Thorp, Gunhild Rosqvist, Frank Rack, Michael Staubwasser, Schneider R R, Steig E J. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62:243~255.
- McDermott F, Matthey D P, Hawkesworth C. 2001. Centennial-Scale Holocene Climate Variability Revealed by a High-Resolution Speleothem $\delta^{18}\text{O}$ Record from SW Ireland. *Science*, 294: 1328~1331.
- McPhaden M J. 1999. Genesis and evolution of the 1997~98 El Niño. *Science*, 283:950~954.
- Meese D A, Gow A J, Grootes P, Stuiver M, Mayewski P A, Zielinski G A, Ram M, Taylor K C, Waddington E D. 1994. The accumulation record from the GISP2 core as an indicator of climate-change throughout the Holocene. *Science*, 266:1680~1682.
- Messerli B, Grosjean M, Hofer T, Lautaro N ez, Pfister C. 2000. From nature-dominated to human-dominated environmental changes. *Quaternary Science Reviews*, 19:459~479.
- Mirosław Makohonięko, Hiroyuki Kitagawa, Toshiro Naruse, Hiroo Nasu, Arata Momohara, Mitsuru Okuno, Toshiyuki Fujiki, Liu Xin, Yoshinori Yasuda, Yin Huauning. 2004. Late-Holocene natural and anthropogenic vegetation changes in the Dongbei Pingyuan (Manchurian Plain), northeastern China. *Quaternary International*, 123~125:71~88.
- Mischke S, Wünnemann B. 2006. The Holocene salinity history of Bosten Lake (Xinjiang, China) inferred from ostracod species assemblages and shell chemistry: Possible palaeoclimatic implications. *Quaternary International*, 154~155:100~112.
- Morrill C, Overpeck J T, Cole J E, Kam-biu Liu, Shen Caiming, Tang Lingyu. 2006. Holocene variations in the Asian monsoon inferred from the geochemistry of lake sediments in central Tibet. *Quaternary Research*, 65:232~243.
- Morrill C, Overpeck J T, Cole J E. 2003. A synthesis of abrupt changes in the Asian summer monsoon since the last deglaciation. *The Holocene*, 4:465~476.
- Peng Yanjia, Xiao Jule, Toshio Nakamura, Liu Baolin, Yoshio Inouchi. 2005. Holocene East Asian monsoonal precipitation pattern revealed by grain-size distribution of core sediments of Daihai Lake in Inner Mongolia of north—central China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233:467~479.
- Sandweiss D H, Richardson III J B, Reitz E J, Rollins H B, Maasch K A. 1996. Geoarchaeological Evidence from Peru for a 5000 years B. P. Onset of El Niño. *Science*, 273:1531~1533.
- Sandweiss Daniel H, Maasch Kirk A, Anderson David G. 1999. Transitions in the Mid-Holocene. *Science*, 283:499~500.
- Schettler G, Q Liu Qiang, Mingram J, Stebich M, Dulski P. 2006. East-Asian monsoon variability between 15000 and 2000 cal. yr BP recorded in varved sediments of Lake Sihailongwan (northeastern China, Long Gang volcanic field). *The Holocene*, 16(8):1043~1057.
- Selvaraj K, Chen C T A, Lou J Y. 2007. Holocene East Asian monsoon variability: Links to solar and tropical Pacific forcing. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L01703, doi: 10.1029/2006 GL 028155.
- Shao Xiaohua, Wang Yongjin, Cheng Hai, Kong xinggong, Wu Jiangying, Lawrence E D. 2006. Long-term trend and abrupt events of the Holocene Asian monsoon inferred from a stalagmite $\delta^{18}\text{O}$ record from Shennongjia in Central China. *Chinese Science Bulletin*, 51(2):221~228.
- Shen Ji, Liu Xingqi, Wang Sumin, Ryo M. 2005. Palaeoclimatic changes in the Qinghai Lake area during the last 18,000 years. *Quaternary International*, 136:131~140.
- Shi Peijun, Song Changqing. 2003. Palynological records of environmental changes in the middle part of Inner Mongolia, China. *Chinese Science Bulletin*, 48(14):1433~1438.
- Stanley D J, Chen Zhongyaun, Song Jian. 1999. Inundation, Sea-Level Rise and Transition from Neolithic to Bronze Age Cultures, Yangtze Delta, China. *Geoarchaeology*, 14:15~26.
- Sun Qianli, Wang Sumin, Zhou Jie, Shen Ji, Cheng Peng, Xie Xiuping, Wu Feng. 2009. Lake surface fluctuations since the late glaciation at Lake Daihai, North central China: A direct indicator of hydrological processes responded to East Asian monsoon climate. *Quaternary International*, 194: 45~54.
- Tao Jing, Chen Minte, Xu Shiyuan. 2006. A Holocene environmental record from the southern Yangtze River delta, eastern southern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 230: 204~229.
- Tao Shichen, An Chengbang, Chen Fahu, Wang Zongli, Lu Yanbin, Li Zhifei, Zheng Tongming, Zhao Jiaju. 2010. Pollen-inferred vegetation and environmental changes since 16.7 kaBP at Balikun Lake, Xinjiang. *Chinese Science Bulletin*, 2449~2457.
- Thompson L G, Thompson E M, Davis M E, Henderson K A, Brecher H H, Zagarodnow V S, Mashiotta T A, Lin Pingnan, Mikhailenko V N, Hardy D R, J rg Beer. 2002. Kilimanjaro Ice Core Records: Evidence of Holocene Climate Change in Tropical Africa. *Science*, 298: 589~593.
- Wang Ruiliang, Scarpitta S C, Zhang Shuichang, Zheng Mianping. 2002. Later Pleistocene /Holocene climate conditions of Qinghai—Xizhang Plateau (Tibet) based on carbon and oxygen stable isotopes of Zabuye Lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 203:461~477.
- Wang Shuyun, LV Houyuan, Liu Jiaqi, Negendank J F W. 2007. The early Holocene optimum inferred from a high-resolution pollen record of Huguangyan Maar Lake in southern China. *Chinese Science Bulletin*, 52(20):2829~2836.
- Wang Xinyuan, Zhang Guangsheng, Wu Li, Zhang Xihui, Zhang Enlou, Xiao Xiayun, Jiang Qingfeng. 2008. Environmental changes during early—middle Holocene from the sediment record of the Chaohu Lake, Anhui Province. *Chinese Science Bulletin*, 53(1):153~160.
- Wang Yongjing, Cheng Hai, Edwards R L, He Yaoqi, Kong Xinggong, An Zhisheng, Wu Jiangying, Kelly M J, Dykolyn C A, Li Xiangdong. 2005. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate. *Science*, 308:854~857.
- Weiss H, Bradley R S. 2001. What drives societal collapse? *Science*, 291:609~610.
- Weiss H, Courty M A, Wetterstrom W, Guichard F, Senior L, Meadow R, Curnow A. 1993. The genesis and collapse of third millennium North Mesopotamian civilization. *Science*, 261: 995~1004.
- Wen Ruilin, Xiao Jule, Chang Zhigang, Zhai Dayou, Xu Qinghai, Li Yuecong, Shigeru I. 2010. Holocene precipitation and temperature

- variations in the East Asian monsoonal margin from pollen data from Hulun Lake in northeastern Inner Mongolia, China. *Boreas*, 39:262 ~ 272.
- Wen Ruilin, Xiao Jule, Chang Zhigang, Zhai Dayou, Xu Qinghai, Li Yuecong, Shigeru I, Zaur L. 2010. Holocene climate changes in the mid-high-latitude-monsoon margin reflected by the pollen record from Hulun Lake, northeastern Inner Mongolia. *Quaternary Research*, 73 : 293 ~ 303.
- Whetton P, Rutherford I. 1994. Historical ENSO teleconnections in the eastern Hemisphere. *Climate change*, 28:221 ~ 253.
- Wu Wenxiang, Liu Tongsheng, Tungsheng. 2004. Possible role of the "Holocene Event 3" on the collapse of Neolithic Cultures around the Central Plain of China. *Quaternary International*, 117:153 ~ 166.
- Wu Yanhong, Andreas Lücke, Jin Zhangdong, Wang Sumin, Gerhard H S, Richard W B, Xia Weilan. 2006. Holocene climate development on the central Tibetan Plateau; A sedimentary record from Cuoe Lake. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234: 328 ~ 340.
- Wünnemann B, Chen Fahu, Riedel F, Zhang Chengjun, Mischke S, Chen Guangjie, Demske D, Ming Jin. 2003. Holocene lake deposits of Bosten Lake, southern Xinjiang, China. *Chinese Science Bulletin*, 48(14):1429 ~ 1432.
- Wünnemann B, Mischke S, Chen Fahu. 2006. A Holocene sedimentary record from Bosten Lake, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234:223 ~ 238.
- Xiao Jule, Toshio N, Lu Huayu, Zhang Guangyu. 2002. Holocene climate changes over the desert/loess transition of north—central China. *Earth and Planetary Science Letters*, 197:11 ~ 18.
- Xiao Jule, Xu Qinghai, Toshio N, Yang Xiaolan, Liang Wendong, Yoshio Inouchi. 2004. Holocene vegetation variation in the Daihai Lake region of north—central China; a direct indication of the Asian monsoon climatic history. *Quaternary Science Reviews*, 23:1669 ~ 1679.
- Xu Hai, Hong Yetang, Lin Qinghua, Hong Bin, Jiang Hongbo, Zhu Yongxuan. 2002. Temperature variations in the past 6000 years inferred from $\delta^{18}\text{O}$ of peat cellulose from Hongyuan, China. *Chinese Science Bulletin*, 47(18):1578 ~ 1584.
- Yan Ge, Wang Fubao, Shi Guangrong, Li Shengfeng. 1999. Palynological and stable isotopic study of palaeoenvironmental changes on the northeastern Tibetan plateau in the last 30,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153: 147 ~ 159.
- Yao Tandong, Thompson L G. 1992. Trends and features of climatic changes in the past 5000 years recorded by the Dunde ice core. *International Glaciological Society*, 16:21 ~ 24.
- Yi Sangheon, Saito Y, Yang Dong-Yoon. 2006. Palynological evidence for Holocene environment change in the Changjiang (Yangtze River) Delta, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 241:103 ~ 117.
- Yi Sangheon, Saito Yoshiki, Oshima Hideaki, Zhou Yongqing, Wei Helong. 2003. Holocene environmental history inferred from pollen assemblages in the Huanghe (Yellow River) delta, China; climatic change and human impact. *Quaternary Science Reviews*, 22:609 ~ 628.
- Yu Shiyong, Zhu Cheng, Song Jian, Qu Weizheng. 2000. Role of climate in the rise and fall of Neolithic cultures on the Yangtze Delta. *Boreas*, 29:157 ~ 165.
- Yuan Daoxian, Cheng Hai, Edwards R L, Dykoski C A, Kelly M J, Zhang Meiliang, Qing Jiaming, Lin Yushi, Wang Yongjin, Wu Jiangyin, Dorale J A, An Zhisheng, Cai Yanjun. 2004. Timing, Duration, and Transitions of the Last Interglacial Asian Monsoon. *Science*, 304: 575 ~ 578.
- Zhang Hucai, Ma Yuzhen, Wünnemann B, Pachur H J. 2000. A Holocene climatic record from arid northwestern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 162:389 ~ 401.
- Zhang Qiang, Xu Chongyu, Jiang Tong, Wu Yijin. 2007. Possible influence of ENSO on annual maximum streamflow of the Yangtze River, China. *Journal of Hydrology*, 333:265 ~ 274.
- Zhao Yan, Chen Fahu, Zhou Aifeng, Yu Zhicheng, Zhang Ke. 2010. Vegetation history, climate change and human activities over the last 6200 years on the Liupan Mountains in the southwestern Loess Plateau in central China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 293:197 ~ 205.
- Zhao Zhijun, Piperno D R. 2000. Late Pleistocene/Holocene Environments in the Middle Yangtze River Valley, China and Rice (*Oryza sativa* L.) Domestication: The Phytolith Evidence. *Geoarchaeology*, 15: 203 ~ 222.
- Zheng Zhuo, Li Qianyu. 2000. Vegetation, Climate, and Sea Level in Past 55,000 Years, Hanjiang Delta, Southeastern China. *Quaternary Research*, 53:330 ~ 340.
- Zheng Zhuo, Wang Jianghua, Wang Bing, Liu Chuanlian, Zou Heping, Zhang Hua, Deng Yun, Bai Yan. 2003. High-resolution records of Holocene from the Shuangchi Maar Lake in Hainan Island. *Chinese Science Bulletin*, 48(5):497 ~ 502.
- Zhou Weijian, Lu Xuefeng, Wu Zhengkun, Deng Lin, Jull A J T, Donahue D, Beck W. 2002. Peat record reflecting Holocene climatic change in the Zoigê Plateau and AMS radiocarbon dating. *Chinese Science Bulletin*, 47:66 ~ 70.
- Zhou Weijian, Xie Shucheng, Meyers P A, Zheng Yanhong. 2005. Reconstruction of late glacial and Holocene climate evolution in southern China from geolipids and pollen in the Dingnan peat sequence. *Organic Geochemistry*, 36:1272 ~ 1284.
- Zhou Weijian, Yu Xuefeng, Timothy Jull A J, Burr G, Xiao Jule, Lu Xuefeng, Xian Feng. 2004. High-resolution evidence from southern China of an early Holocene optimum and mid-Holocene dry event during the past 18,000 years. *Quaternary Research*, 62:39 ~ 48.
- Zhou Xinying, Li Xiaoqiang, Zhao Keliang, Dodson J, Sun Nan, Yang Qing. 2011. Early agricultural development and environmental effects in the Neolithic Longdong basin (East Gansu). *Chinese Science Bulletin*, 56(1 ~ 6):1 ~ 10.
- Zhu Cheng, Chen Xing, Zhang Guangsheng, Ma Chunmei, Zhu Qing, Li Zhongxuan, Xu Weifeng. 2008. Spore-pollen—climate factor transfer function and paleoenvironment reconstruction in Dajiuhe, Shennongjia, Central China. *Chinese Science Bulletin*, 53:42 ~ 49.
- Zhu Liping, Wu Yanhong, Wang Junbo, Lin Xiao, Ju Jianting, Xie Manping, Li Minghui, Roland M, Antje S, Gerhard D. 2008. Environmental changes since 8.4 ka reflected in the lacustrine core sediments from Nam Co, central Tibetan Plateau, China. *The Holocene*, 18(5): 831 ~ 839.
- Zong Yongqiang, Chen Zhongyuan, Innes B J, Chen C, Wang Z, Wang H. 2007. Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China. *Nature*. 449:459 ~ 463.

Spatial Characteristics of Climate around 4.0 ka BP and Its Impacts on the Evolution of Prehistoric Civilization in China

PENG Yajun¹⁾, SUN Qianli²⁾, CHEN Jing²⁾, LI Maotian²⁾

1) Department of Geography, East China Normal University, Shanghai, 200062;

2) State Key Laboratory for Estuarine and Coastal Science, East China Normal University, Shanghai, 200062

Abstract: 110 paleoclimate and paleoenvironment records from 84 locations of China were employed to discuss the spatial characteristics of climate around 4.0 ka BP and its possible impacts on the transformation and collapse of Neolithic culture of China (CNCC). The results indicate that cold climate characterized by temperature decline prevailed for most regions of China and the humidity exhibit some diversity. Dry and fairly drier conditions occurred in north and northwest arid regions, and most places of southwestern and eastern monsoonal regions. A few records from central Loess Plateau and lower Yangtze River regions show some extent humidity increase characterized by flood events. Briefly, the spatial characteristics of climate in China around 4.0 ka BP show evident discrepancies with the notion that is described as "dry in the north and humid in the south". Humidity increases and accelerated soil erosion in some places around 4.0 ka BP possibly due to the amplified seasonal deviations of monsoon precipitations resulting from high El Nino—Southern Oscillation (ENSO) variability. Recession and collapse of Neolithic cultures in northern, central and eastern China are coevally with the climate transformations around 4.0 ka BP, implying the climate served as the major driving forcing in pre-historical culture evolution.

Key words: climate characteristics; 4.0 ka BP; monsoon precipitation; prehistoric civilization

最长寿地质学家崔克信先生辞世

2013年2月14日,中国科学院地质与地球物理研究所研究员崔克信先生以104岁高龄在北京逝世。据目前所知,他是中国地质学家中之最长寿者。2月20日,在八宝山殡仪馆举行了崔克信先生遗体告别仪式。中国科学院院士、孙枢、叶大年,中国科学院地质与地球物理研究所党委书记钟华,原副所长易善锋、黄家宽,研究员吴浩若、周云生、张绍宗,崔先生的第一位研究生、现中国科学院大学(即原研究生院)教授潘云唐,以及崔先生的老友、原中国科学院自然资源综合考察委员会陆德复、田兴有、侯奎等先生出席了告别仪式,并向崔先生家属表示慰问。

崔克信字子成,河北井陘县人,生于1909年7月7日。1935年毕业于北京大学地质系,曾任实业部(经济部)地质调查所技佐,西康省金矿局副局长工程师,西康省地质调查所技

师、所长。新中国时期,历任西南地质调查所工程师、队长,地质部石油地质局工程师,中国科学院地质研究所副研究员、研究员,科学出版社编辑,中国科学院自然资源综合考察委员会学术指导,中国科学院地质与地球物理研究所研究员,《地质科学》、《古地理学报》编委。

崔克信先生擅长区域地质学、岩相古地理学、砂金矿床学、石油地质学,等等。他主要学术代表作有:《康藏地质图集》、《康藏地质志》、《中国大陆的形成和发展》、《中国自然地理(古地理)(下册)》、《中国西南区域古地理及其演化图集》(2004年他95岁高龄时出版)、《崔克信地质文选》(为庆祝他百岁华诞而出版),等等。

[中国科学院大学(原中国科学院研究生院)张克勤 供稿]