

猪野泽中全新世干旱事件时空范围和机制

李 育, 王乃昂, 李卓仑, 张华安, 周雪花, 张成琦

(兰州大学资源环境学院, 兰州大学干旱区水循环与水资源研究中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要:以亚洲季风边缘区石羊河流域终端湖猪野泽为例,结合最新的沉积物年代、岩性、指标及古湖泊岸堤研究结果,从时间和空间尺度上探讨了猪野泽中全新世干旱事件时空范围和机制。从空间上对比了猪野泽中全新世地貌及沉积物岩性和指标,并配合石羊河中、上游地区的中全新世沉积剖面进行研究。在时间尺度上分析了猪野泽和石羊河流域近百个全新世测年结果,最终得出猪野泽地区在8.0~7.0 cal ka B.P.期间存在百年尺度的干旱事件,而不是以前研究提出的距今7000~5000日历年期间2000 a尺度的干旱事件,并且这次极端干旱事件影响范围主要在石羊河中、下游地区,对石羊河上游地区影响较小。根据时空尺度分析对猪野泽中全新世干旱事件机制进行讨论,结果表明这次干旱事件主要是由流域气候条件特征和水热配比改变所引起的,而不是以前研究提出的亚洲夏季风减弱导致。

关 键 词: 亚洲季风区; 中全新世; 干旱事件; 石羊河流域; 猪野泽

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)06-0731-08

中全新世气候及环境变化一直是全新世研究中关注度较高的部分,中国中全新世气候及环境记录显示不同区域该时段环境状况差异很大^[1],正确理解中国中全新世环境变化过程及机制不仅可以推动中国全新世研究的发展,还可以更好地理解过去区域性气候及环境变化的驱动机制。其中,亚洲季风区中全新世干旱事件研究是中国中全新世研究的一个重要组成部分,同时也是国际全新世研究的热点^[2]。在季风边缘区,全新世干旱的时空范围在不同地区的起止时间存在一定的差异^[3-9]。除以上研究以外,中国季风区一些其他的研究也证实了中全新世期间干旱事件的存在^[10,11]。关于中国亚洲季风区中全新世干旱事件的机理解释,一种归因于中全新世亚洲季风的退缩^[7,8],但石笋资料显示的全新世亚洲季风虽然从中全新世开始减弱,但是减弱是渐变过程而并非季风区全新世记录显示的干旱事件突变^[12-14]。另一种归因于降水和蒸发的配比关系^[1,6],但目前还没有研究验证这种说法的正确性。因此,亚洲季风区中全新世干旱事件的研究仍然缺乏突破口,很难从机理上解释这一事件的发生过程及原因。

在上述研究中,位于亚洲季风边缘区的石羊河流域终端湖猪野泽,一直是研究的热点之一,在湖泊地貌学^[15-19]和湖泊沉积学^[7,20-25]方面虽然取得了大量的研究成果,但同时对中全新世研究结果存在较大的分歧,尤其是全新世中期在该区域究竟是存在2000 a尺度的干旱事件^[7]还是百年尺度的干旱事件^[24,25],争论较大。本文针对这些分歧,结合猪野泽全新世记录和该流域环境变化序列来研究该区域中全新世干旱事件的时间尺度和空间尺度问题,从时间及空间尺度分析猪野泽中全新世干旱事件的时空范围和机制,为季风区其他中全新世干旱事件的研究提供线索和思路。

1 研究区域概况

石羊河流域位于甘肃省河西走廊东部,乌稍岭以西,祁连山北麓,101°41'E~104°16'E,36°29'N~39°17'N之间,总面积 $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[26]。石羊河流域位于季风边缘地区,受到亚洲冬、夏季季风风和西风带环流的共同影响,流域内部气候条件差异很大,自南向北划分为3个气候区:南部祁连山高寒半干旱半湿润区,年降水量300~600 mm,年蒸发

收稿日期: 2011-07-07; 修订日期: 2011-09-11

项目基金: 国家自然科学基金(41001116),兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(LZUJBKY-2010-99)资助。

作者简介: 李 育(1981-),男,甘肃兰州人,副教授,硕士生导师,主要研究气候变化。E-mail: liyu@lzu.edu.cn

量700~1 200 mm;中部走廊平原温凉干旱区,年降水量150~300 mm,年蒸发量1 300~2 000 mm;北部温暖干旱区,年降水量小于150 mm,年蒸发量为2 000~2 600 mm^[26,27]。

猪野泽位于民勤盆地,是祁连山东段石羊河的终端湖泊(图1)。猪野泽是对终端湖盆的统称,终端湖盆内部又分为白碱湖、东硝池、西硝池、野麻湖和青土湖等小湖盆(图2)。民勤盆地为构造断陷盆地,属于祁连山山前断陷盆地,盆地内第四纪松散沉积物厚度最大达到300 m,地层中夹杂湖相、冲积相和风成沉积物^[26]。目前,除在猪野泽湖盆东部的白碱湖尚有少量积水外,其它湖泊全部消失,民勤盆地生态恶化严重,成为中国沙尘暴的源地之一^[28]。

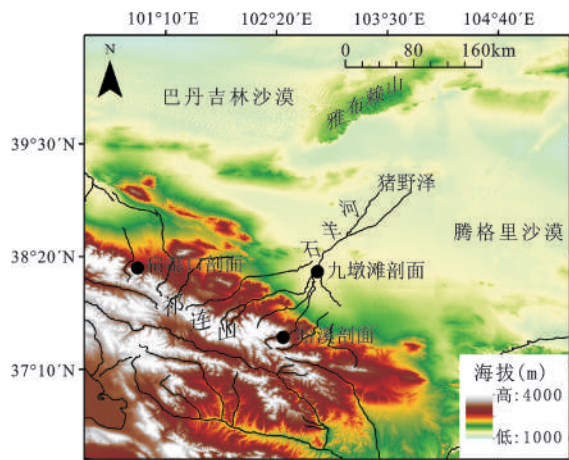
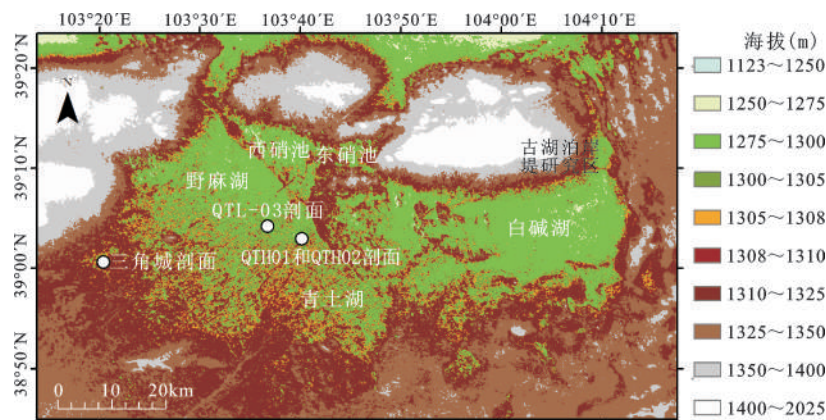


图1 猪野泽、石羊河流域示意图

Fig. 1 The location of Zhuye Lake and the Shiyang River drainage basin

2 猪野泽中全新世环境地貌证据

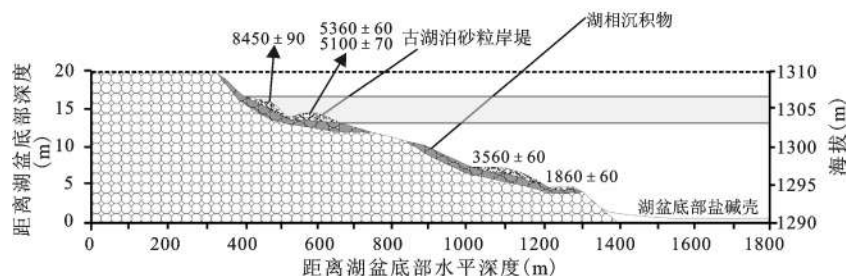
20世纪60年代,冯绳武^[29]最早提出了猪野泽地区的大湖学说,初步得出猪野泽自然水系时代的湖面高程为1 350 m。90年代初,李并成^[30]使用卫星遥感影像解译和湖泊水量平衡计算等方法,重新估算了猪野泽自然水系时代的湖面高程,其结果为1 309 m左右。90年代中期以来 Pachur 等^[15], Zhang 等^[16,17,18]先后通过猪野泽地区古湖泊地貌的研究和测年,探讨了猪野泽晚更新世以来的湖泊演变过程。图3显示了 Zhang 等^[18]对猪野泽东北岸古湖泊岸堤的测年结果,早全新世(8500 a B.P.)和中全新世(5400~5100 a B.P.)岸堤海拔高度非常接近,甚至在某些部位存在连接的现象,在海拔高度上早中全新世的古湖泊岸堤处于1 303~1 307 m之间^[18](图3)。本研究小组^[19,31]也新近报道了猪野泽东北岸全新世8级古湖泊岸堤的海拔高度和测年结果,确定全新世期间湖面最高海拔达到1 306~1 308 m,年代处于中全新世7.6~6.6 cal ka B.P.之间(cal,表明这个年代经过校正,代表日历年,下同),随后湖泊呈现退缩趋势^[31]。考虑到以上研究在测量岸堤高程和划分岸堤条数上的误差,并综合其测年结果,猪野泽中全新世高湖面期应该处于7.6~5.9 cal ka B.P.期间。该区域年代学研究结果显示,全新世期间“碳库效应”影响相对较小,所以基于生物壳体年代学的中全新世高湖面结论较可靠^[24,32,33]。另外,猪野泽是由白碱湖、东硝池、西硝池、野麻湖和青土湖等小湖盆组成(图2),但是根据野外考察并结合地形图分析(图2),各个小湖



注:图中高程数据来自于30m精度的ASTER-GDEM数据,下载于<https://wist.echo.nasa.gov/wist-bin/api/ims.cgi?mode=MAINSRCH&JS=1>;由于湖盆周围地形起伏较大,为了更好表现湖盆形态,使用非等差值高程。

图2 猪野泽湖盆经纬度及高程

Fig.2 Map showing the latitude, longitude and elevation of the Zhuye Lake basin



注: 根据 Zhang 等^[18]的研究转绘; 图中灰色条带所示范围为早中全新世岸堤高程范围(1303~1307 m)。

图3 猪野泽东北岸古湖泊岸堤高程及软体动物壳体¹⁴C测年结果(a B.P.)

Fig. 3 The altitudes and the dates of the lake shorelines at NE Zhuye Lake (a B.P.)

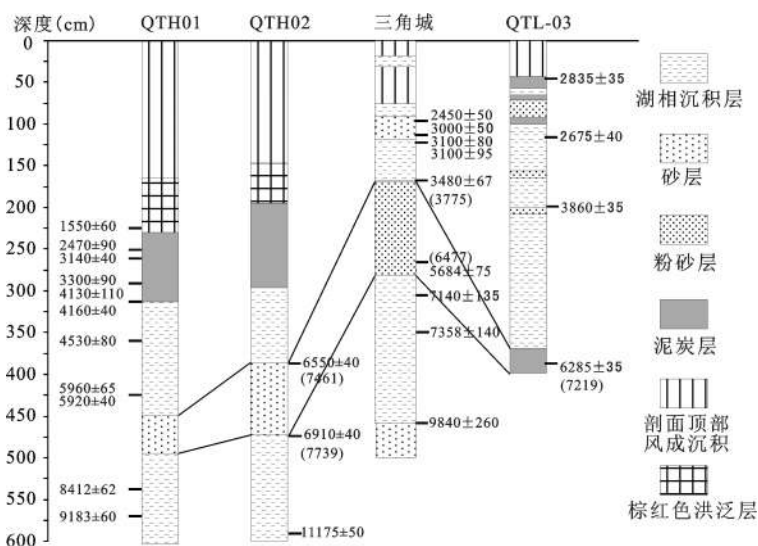
盆之间都有水道相连接, 所以猪野泽中全新世期间各个小湖盆的湖泊水位基本一致。

3 猪野泽中全新世沉积证据

猪野泽地区不同全新世剖面所得出的中全新世环境差异很大, 有些结果甚至相反。本文选择了在可靠测年数据和古环境代用指标的支持下, 能够重点探讨中全新世环境变化过程的三角城^[7,21,23]、QTH01^[24,25]、QTH02^[24,25]和QTL-03^[34]4个典型沉积剖面进行对比(图2, 图4)。

根据三角城、QTH01、QTH02和QTL-03剖面的岩性及年代可以看出(图4), 三角城剖面中全新世粉砂层出现在距今7.1~3.8 cal ka B.P.期间; QTH01和QTH02剖面相距80 m, 根据岩性互相内插了年代(图4), QTH02剖面中全新世砂层上下部的年代结果, 说明QTH01和QTH02剖面位置中全

新世砂层出现在7.7~7.4 cal ka B.P.; QTL-03剖面上没有发现砂层, 但是剖面底部出现的黑色泥炭沉积相对其上的湖相层属于湖泊干涸退缩的标志, 这与砂层代表湖泊干涸具有相似的意义, 泥炭层中部年代为7.2 cal ka B.P.。根据三角城与QTH01和QTH02剖面砂层底部的年代互相印证, 砂层底部年代在测年误差范围之内, 说明干旱事件开始时间应该在7.7~7.1 cal ka B.P.期间。根据QTL-03与QTH01和QTH02剖面年代、岩性与孢粉浓度相互印证(图4, 图5), 干旱事件顶部的年代也在测年误差范围之内应该在7.4~7.2 cal ka B.P.期间。仅根据三角城剖面的岩性和测年来看, 干旱事件的尺度为3 000 a, 陈发虎等^[7]提出2000 a尺度的干旱事件是结合了剖面上指标及古居延泽和头道湖研究结果。三角城剖面为什么会测出3000 a尺度的干旱事件呢? 根据猪野泽湖盆的地形(图2),



注: 括号中的年代为日历年(cal a B.P.), 其余年代均为¹⁴C年(¹⁴C, a B.P.)。

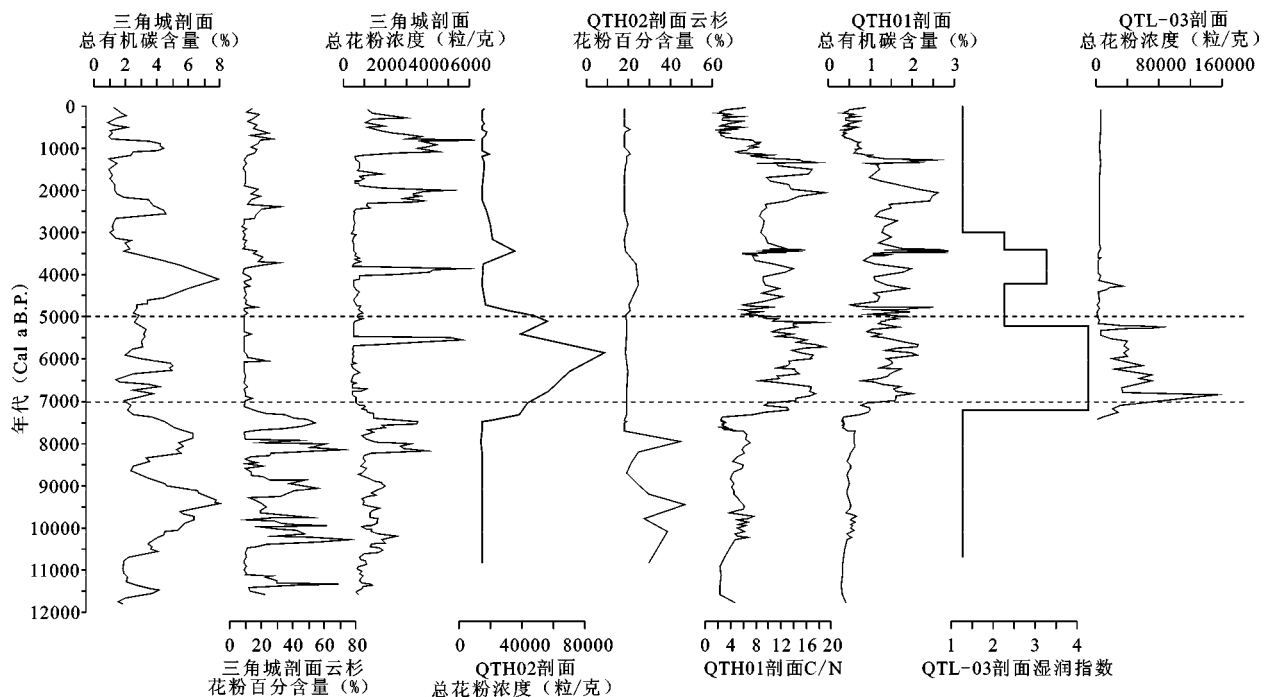
图4 猪野泽地区QTH01、QTH02、三角城、QTL-03全新世剖面岩性及测年结果示意图

Fig. 4 Lithology and dates in the QTH01, QTH02, Sanjiaocheng and QTL-03 sections during the Holocene

QTH01、QTH02剖面海拔1 309 m, QTL-03剖面海拔1 302 m, 这3个剖面中全新世期间大概距剖面顶部3~5 m左右, 因此QTH01、QTH02剖面位置中全新世期间的海拔应该为1 304~1 306 m左右, QTL-03剖面位置中全新世期间海拔为1297~1299 m。而根据猪野泽东北岸古湖泊岸堤的年代结果, 中全新世湖泊水位应该在1 303~1 308 m之间, 所以这3个剖面位置中全新世期间处于猪野泽湖泊水位以下, 对湖泊的进退比较敏感。而三角城剖面海拔1 320 m, 中全新世沉积物距剖面顶部3~4 m左右, 所以三角城剖面位置中全新世期间海拔为1 316~1 317 m左右, 并不处于猪野泽湖盆内部, 所以其记录的中全新世千年尺度的干旱事件可能与局部的地貌有关, 不能反映古猪野泽中全新世的环境。所以不考虑三角城剖面, 根据QTH-03与QTH01和QTH02剖面的年代结果, 猪野泽湖泊中全新世干旱事件应该发生在7.7~7.2 cal ka B.P.之间。

根据三角城、QTH-03、QTH01和QTH02剖面的测试结果(图5), 早全新世期间QTH02剖面 and 三角城剖面都显示了较高的云杉孢粉含量, 根据本区域孢粉现代孢粉过程研究, 云杉孢粉主要受石羊河水流传播, 代表了石羊河早全新世期间水量较大, 并给终端湖地区带来了许多祁连山山地

云杉花粉^[35]。但早全新世期间三角城剖面孢粉浓度较高, 可能与其所在的位置有关, 处于猪野泽外围地区距离古河道较近保留了大量的云杉花粉。7.7~7.4 cal ka B.P.期间QTH02剖面孢粉谱中云杉花粉浓度降低, 中全新世7.0~5.0 cal ka B.P.期间QTL-03和QTH02剖面的花粉谱相似度较高, 主要以蒿、藜花粉为主, 花粉浓度达到了非常高的水平, 代表猪野泽湖泊周围草本植被发育很好, 并未出现三角城剖面记录的7.0~5.0 cal ka B.P.期间湖泊干涸、植被退化的现象, 并且根据QTL-03剖面孢粉记录分析得出的湿润指数来看, 中全新世7.0~5.0 cal ka B.P.期间湿润指数在猪野泽地区也达到了全新世期间的高值。中全新世期间云杉花粉百分比减少, 可能是由于猪野泽周边地区蒿、藜等草本植被密度过大, 导致云杉花粉百分含量减少。根据QTH02剖面的研究, 中全新世期间虽然云杉花粉百分比下降, 但是花粉浓度比起早全新世却有上升, 证明了中全新世期间石羊河水流仍然带来大量的云杉花粉^[25]。所以QTL-03和QTH02剖面孢粉证据共同证明了中全新世7.0~5.0 cal ka B.P.期间, 猪野泽周围植被较好, 并未显示出干旱事件。



注: 虚线划出了7000~5000 cal a.B.P.时期的范围。

图5 三角城、QTH01、QTH02、QTL-03剖面全新世孢粉指标与地球化学指标示意图

Fig. 5 Pollen and geochemical results in Sanjiaocheng, QTH01, QTH02 and QTL-03 sections

4 石羊河中、上游地区中全新世全新世环境

本项研究也对比了石羊河流域中游和上游的全新世记录,用来探讨猪野泽中全新世干旱事件的时间及空间尺度问题。石羊河中游地区红水河九墩滩剖面,位于石羊河支流红水河左岸一级阶地(图1),剖面顶部海拔1 460 m,采样深度为5.8 m,年代序列如表1,根据对比剖面中全新世陆生植物块体的年代与其上部全样有机碳年代(表1),并结合该时段沉积速率,可以发现该剖面老碳效应并不大。该剖面位置距离腾格里沙漠边缘很近(图1),干旱事件发生,沙漠扩张,可以直接反应在该剖面的粒度组成上,对比九墩滩剖面与猪野泽QTH01剖面的粒度组成中砂含量(图6),可以看出这两个剖面8.0~7.0 cal ka B.P.之间明显存在砂含量增加的现象,在测年误差范围内具有可对比性(图6),表明中全新世期间百年尺度的干旱事件对石羊河中、下游地区影响都很大。九墩滩剖面显示中全新世期间7.0~5.0 cal ka B.P.砂含量相对较低,说明沙漠在该段时间并未扩张,这与Zhang等^[36]对临近地区全新世剖面孢粉和地球化学指标研究非常一致。Zhang等的研究结果显示7 500~5 070 a B.P.期间,红水河地区气候条件较好,虽然温度和水分条件存在周期变化,但是整体比较稳定^[36]。

石羊河上游地区,郭光剑等^[37]研究了祁连山东段北麓哈溪、扁都口全新世黄土-古土壤剖面(图1)的碳酸盐含量、总有机碳含量和磁化率。2006年Yu等^[38]重新研究了扁都口剖面(图1)的磁化率和碳酸盐含量结果。根据他们的研究结果(图6),中全新世期间千年尺度上,石羊河上游地区环境变化状况存在一定波动,但总体上中全新世湿润状况优于早、晚全新世。将焦点放在8.0~7.0 cal ka B.P.期间,该时段黄土指标虽存在一定波动,但

未发现类似于中下游地区砂层广泛沉积的极端气候事件,考虑到测年误差,将时间尺度放到6.0~9.0 cal ka B.P.之间,可以发现一些黄土指标出现了干湿波动,比如哈溪剖面^[37]8.2 cal ka B.P.左右出现了碳酸盐的高值,扁都口剖面^[38]9.0 cal ka B.P.左右出现了磁化率的低值,但是这些波动缺乏一致性,从强度上也不如中下游地区(图6)。所以根据石羊河不同部位全新世气候记录研究,在上游地区中全新世7.0~8.0 cal ka B.P.期间并未发现明显极端干旱事件,说明中全新世7.0~8.0 cal ka B.P.期间这次百年尺度的干旱事件对上游地区影响较小。

5 猪野泽中全新世干旱事件的时间及空间尺度问题

根据猪野泽不同全新世沉积剖面的对比研究,结合中全新世古湖泊岸堤测年及流域其他部位全新世沉积剖面,猪野泽地区中全新世干旱事件应该发生在8.0~7.0 cal ka B.P.期间,并且为百年尺度干旱事件,而不是前人提出的7.0~5.0 cal ka B.P.期间的2000a尺度的干旱事件。这一时期,未发现极端季风衰退事件^[39](图6)。亚洲季风区其他可靠定年的全新世季风记录中也未发现类似事件^[12,14,40](图6)。Chen等^[41]综述了中亚西风带控制区11个可靠定年的全新世湖泊记录,也并未在西风带控制区发现8.0~7.0 cal ka B.P.期间存在明显的极端气候事件。在这样的背景下,猪野泽地区发生了百年尺度的极端气候事件可能是由于该时段内太阳辐射和降水减少所造成的。该流域水热配比,也就是降水和蒸发的配比发生变化,降水减弱的趋势可能大于蒸发减弱的趋势,从而导致了这次干旱事件的发生。8.0~7.0 cal ka B.P.干旱事件在石羊河中下游地区表现非常明显,但是在上游的黄土剖面中表现不明显。根据石羊河流域现代气候特征,流域内不同部位气候条件差异较大,该流

表1 九墩滩剖面¹⁴C测年结果

Table 1 The ¹⁴C dating results for the Jiuduntan section

实验室编号	深度(m)	测年材料	¹⁴ C 测年(a B.P.)	日历年(2σ)(cal a B.P.)
LUG96-53	1.33	全样有机质	3980±96	4153~4813
LUG96-51	1.87	全样有机质	5930±100	6493~7137
LUG96-54	2.84	全样有机质	6600±90	7321~7622
LUG96-50	3.15	全样有机质	6820±70	7566~7825
LUG96-55	3.40	全样有机质	7060±85	7696~8017
LUG96-52	4.20	陆生植物块体	7130±110	7724~8175

旱事件机制进行讨论,结果表明这次干旱事件主要是由流域气候条件特征和水热配比改变所引起的,而不是以前研究提出的亚洲夏季风减弱导致。

致谢:感谢赵强博士、隆浩博士在兰州大学学习期间协助完成本工作,感谢兰州大学程弘毅博士参加野外工作,感谢河北师范大学许青海教授领导的孢粉研究团队指导本研究中的孢粉鉴定工作。

参考文献:

- [1] An C B, Feng Z, Barton L. Dry or humid? Mid-Holocene humidity changes in arid and semi-arid China[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2006, **25**: 351-361.
- [2] Steig E J. Mid-Holocene climate change[J]. *Science*, 1999, **286**: 1485-1487.
- [3] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件[J]. *中国科学: B辑*, 1992, **22**(12): 1300~1308.
- [4] Guo Z T, Petit-Maire N, Kropelin S. Holocene non-orbital climatic change events in present-day arid areas of northern Africa and China[J]. *Global and Planetary Change*, 2000, **26**: 97-103.
- [5] Huang C C, Zhou J, Pang J L, et al. A regional aridity phase and its possible cultural impact during the Holocene Magathermal in the Guanzhong Basin, China[J]. *The Holocene*, 2000, **10**(1): 135-142.
- [6] Chen C-T A, Lan H C, Lou J Y, et al. The dry Holocene Megathermal in Inner Mongolia[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003, **193**: 181-200.
- [7] 陈发虎, 吴 薇, 朱 艳, 等. 阿拉善高原中全新世干旱事件的湖泊记录研究[J]. *科学通报*, 2004, **49**(1): 1~9.
- [8] Jiang W Y, Liu T S. Timing and spatial distribution of Mid-Holocene drying over northern China: response to a south-eastward retreat of the East Asian monsoon[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**: D24111.
- [9] Zhou W, Yu X, Jull A J, et al. High-resolution evidence of an early Holocene optimum and a mid-Holocene dry event from southern China during the last 18,000 years[J]. *Quaternary Research*, 2004, **62**: 39-48.
- [10] Li X, Zhou W, An Z, et al. The vegetation and monsoon variations at the desert-loess transition belt at Midiwan in northern China for the last 13 ka[J]. *The Holocene*, 2003, **13**: 779-784.
- [11] Liu H, Xu L, Cui H, et al. Holocene history of desertification along the woodland-steppe border in Northern China[J]. *Quaternary Research*, 2002, **57**: 259-270.
- [12] Wang Y, Cheng H, Edwards R L, et al. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate[J]. *Science*, 2005, **308**: 854-857.
- [13] Dykoski C A, Edwards R L, Cheng H, et al. A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, **233**: 71-86.
- [14] Hu C, Henderson G M, Huang J, et al. Quantification of Holocene Asian monsoon rainfall from spatially separated cave records[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, **266**: 221-232.
- [15] Pachur H J, Wünnemann B, Zhang H C. Lake evolution in the Tengger Desert, Northwest China, during the last 40000 years[J]. *Quaternary Research*, 1995, **44**: 171-180.
- [16] Zhang H C, Ma Y Z, Li J J, et al. Palaeolake evolution and abrupt climate changes during last glacial period in NW China[J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, **28**: 3203-3206.
- [17] Zhang H C, Wünnemann B, Ma Y Z, et al. Lake level and climate changes between 42,000 and 18,000 C-14 yr BP in the Tengger Desert, Northwestern China[J]. *Quaternary Research*, 2002, **58**: 62-72.
- [18] Zhang H C, Peng J L, Ma Y Z, et al. Late Quaternary palaeolake levels in Tengger Desert, NW China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, **211**: 45-48.
- [19] 王乃昂, 李卓仑, 程弘毅, 等. 阿拉善高原晚第四纪高湖面与大湖期的再探讨[J]. *科学通报*, 2011, **56**(17): 1367~1377.
- [20] Chen F H, Shi Q, Wang J M. Environmental change documented by sedimentation of Lake Yiema in arid China since the last glaciation[J]. *Journal of Paleolimnology*, 1999, **22**: 159-169.
- [21] 陈发虎, 朱 艳, 李吉均. 民勤盆地湖泊沉积记录的全新世千年尺度夏季风快速变化[J]. *科学通报*, 2001, **46**(17): 1414~1419.
- [22] Shi Q, Chen F H, Zhu Y. Lake evolution of the terminal area of Shiyang River drainage in arid China since last glaciation[J]. *Quaternary International*, 2002, **93-94**: 31-44.
- [23] Chen F H, Cheng B, Zhao Y, et al. Holocene environmental change inferred from a high-resolution pollen record, Lake Zhuyez, arid China[J]. *The Holocene*, 2006, **16**: 675-684.
- [24] Li Y, Wang N, Cheng H, et al. Holocene environmental change in the marginal area of the Asian monsoon: a record from Zhuye Lake, NW China[J]. *Boreas*, 2009, **38**: 349-361.
- [25] Li Y, Wang N, Morrill C, et al. Environmental change implied by the relationship between pollen assemblages and grain-size in N.W. Chinese lake sediments since the Late Glacial[J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2009, **154**: 54-64.
- [26] 陈隆亨, 曲耀光. 河西地区水土资源及其开发利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 6-46.
- [27] 汤奇成, 曲耀光, 周聿超. 中国干旱区水文及水资源利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 44~80.
- [28] 张克存, 屈建军, 马中华. 近 50a 来民勤沙尘暴的环境特征[J]. *中国沙漠*, 2004, **24**(3): 257~260.
- [29] 冯绳武. 民勤绿洲的水系演变[J]. *地理学报*, 1963, **29**(3): 241~249.
- [30] 李并成. 猪野泽及其历史变迁考[J]. *地理学报*, 1993, **48**(1): 55~59.
- [31] 隆 浩, 王乃昂, 李 育, 等. 猪野泽记录的季风边缘区全新世中期气候环境演化历史[J]. *第四纪研究*, 2007, **27**(3): 371~381.
- [32] Long H, Lai Z P, Wang N A, et al. A combined luminescence and radiocarbon dating study of Holocene lacustrine sediments from arid northern China. *Quaternary Geochronology*, 2011, **6**:

- 1-9.
- [33] Long H, Lai Z P, Wang N A, et al. Holocene climate variations from Zhuyeze terminal lake records in East Asian monsoon margin in arid northern China. *Quaternary Research*, 2010, **74**: 46-56.
- [34] Zhao Y, Yu Z, Chen F H, et al. Holocene vegetation and climate change from a lake sediment record in the Tengger Sandy Desert, northwest China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, **72**: 2054-2064.
- [35] 朱 艳, 程 波, 陈发虎, 等. 石羊河流域现代孢粉传播研究[J]. *科学通报*, 2004, **49**(1): 15~21.
- [36] Zhang H C, Ma Y Z, Wünnemann B. Holocene climatic record from arid northwestern China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, **162**: 389-401.
- [37] 郭光剑, 潘保田, 管清玉, 等. 祁连山东段全新世与现代水热组合特征研究[J]. *地理科学*, 2000, **20**(2): 160~165.
- [38] Yu Y, Yang T, Li J, et al. Millennial-scale Holocene climate variability in the NW China drylands and links to the tropical Pacific and the North Atlantic[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, **233**: 149-162.
- [39] 刘兴起, 沈 吉, 王苏民, 等. 晚冰期以来青海湖地区气候变迁受西南季风控制的介形类壳体氧同位素证据[J]. *科学通报*, 2006, **51**(22): 2690~2694.
- [40] Fleitmann D, Burns S J, Mudelsee M, et al. Holocene Forcing of the Indian Monsoon Recorded in a Stalagmite from Southern Oman[J]. *Science*, 2003, **300**: 1737-1739.
- [41] Chen F, Yu Z, Yang M, et al. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2008, **27**: 351-364.
- [42] Mischke S, Demske D, Schudack M E. Hydrologic and climatic implications of a multidisciplinary study of the Mid to Late Holocene Lake Eastern Juyanze[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48**: 1411-1417.
- [43] Madsen D B, Chen F H, Oviatt C G, et al. Holocene wetland events recorded in southeast Tengger Desert lake sediments, NW China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48**: 1423-1429.

The Spatial and Time Scales for the Dry Mid-Holocene Event in Zhuye Lake

LI Yu, WANG Nai-ang, LI Zhuo-lun, ZHANG Hua-an, ZHOU Xue-hua, ZHANG Cheng-qi

(College of Earth and Environmental Sciences, Center for Hydrologic Cycle and Water Resources
in Arid Region, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: In this paper, the sediments and paleo-lakeshores data in Zhuye Lake and surrounding areas, the terminal lake of Shiyang River drainage basin, in the marginal area of the Asian monsoon, were synthesized and then the spatial and time scales around Zhuye Lake and in the drainage basin were discussed. In the spatial scale, this study compared the results of mid-Holocene geomorphology and lake sediments in Zhuye Lake, and we also studied the mid-Holocene sections in the middle and upper regions of the Shiyang River. In the time scale, nearly a hundred dating results in Zhuye Lake and the drainage basin were compared. Then it was concluded that there was a centennial-scale extremely dry interval occurring during 8.0-7.0 cal ka B.P. in Zhuye Lake, instead of the previous study which reported the dry interval during 7000-5000 cal a B.P.. And the centennial-scale extremely dry could be detected in the middle and lower reaches of the drainage basin, but the upper region was less affected. The centennial-scale extremely dry interval might be related to the changes in water and heat balance, and the characteristics of climatic conditions in this drainage lead to the different responses to the dry interval in the different locations of the drainage basin. There were no obvious evidences showing that the dry interval was related to the Asian monsoon weakening. In this paper, the time and spatial scales analysis of the dry mid-Holocene in Zhuye Lake provide some clues and ideas for the dry mid-Holocene studies in other parts of the Asian monsoon domain.

Key words: Asian monsoon domain; mid-Holocene; dry event; Shiyang River; Zhuye Lake