科 学 通 报
第 42 卷 第 23 期 Chinese Science Bulletin 1997 年 12 月

【研究简报】

中国西部晚中新世气候变干事件的发现及其意义

方小敏① 奚晓霞② 李吉均① 穆德芬①
(①兰州大学地理科学系，兰州 730000；②兰州大学大气科学系，兰州 730000)

关键词 中国西部 晚新生代 碳酸盐 氯离子 气候变干

发现于南亚等地的晚中新世气候变干或生态转型事件是晚新生代地质历史中一个非常引人注目的重要事件. 最近 Quade 等人将其与喜马拉雅山和青藏高原的隆起及由此导致的亚洲季风的形成相联系[1]，而其他学者则提出了完全不同的看法[2~4]，并认为可能与著名的海洋磁极性 6 碳漂移事件和地中海蒸发成盐事件[3]相关. 由于这一问题涉及对全球中新世晚期一系列重大环境-生态事件序列和亚洲当代环境形成的理解，尤其是青藏高原的隆起和亚洲季风的形成以及与此有关的中国北方和北半球大气粉尘的发生历史问题，因而具有重要的科学意义.

本文利用临夏盆地新生代地层中的碳酸盐和氯离子(Cl^-)对晚中新世的气候变化进行详细的探讨. 临夏盆地位于兰州市以南约 150 km 处的黄土高原与青藏高原东北边缘的接壤部位，属大型陇中盆地的西南隅. 盆地新生代地层可划分成 14 个组，晚渐新世他拉组至早上新世何王家组均为以湖相为主的粉砂岩和泥岩，红层之上为晚上新世洪积相巨砾岩层(积石组)及第四纪湖、河相与黄土沉积(图 1(a)). 据古地磁等综合测年分析，盆地地层形成于约 29 Ma 以来[5](图 1(a)). 详细的地层划分与岩性描述见文献[5]. 本文的研究重点为中新世至早上新世的中庄组-何王家组地层.

早先的研究表明，碳酸盐和 Cl^- 是封闭湖盆中对流域气候变化非常敏感的指标，其在湖相地层中的含量主要受流域的气候，主要是降水，以及流域中原岩类型、沉积相和大气状况的影响[6]. 临夏盆地流域中的原岩类型主要为古生代和中生代的板岩、砂岩、灰岩和花岗岩，原岩中 Cl^- 含量很低. 灰岩的出现可能会对盆地地层中的碳酸盐含量产生影响，但电子显微镜和光学显微镜观察表明，除河湖相砂岩和细砾岩中有少量碳酸盐碎屑外，湖相粉砂岩和泥岩中很难发现有碎屑状碳酸盐. 沉积相本身受湖泊环境状况控制，其影响是次一级的和局部的. 大气状况的影响主要局限于沿海及内陆尘暴严重地区[6]. 热液成因 Cl^- 补给的可能性在本区非常小[7]. 因此，流域气候是控制湖相沉积物中 Cl^- 和 Ca^{2+} 的主要因素. 一般地，流域气候变干，湖水浓缩，湖水和沉积物中碳酸盐和 Cl^- 浓度增大，相反，流域气候变湿，湖水位上升，碳酸盐和氯化物盐类多溶于水，仅少量保存于湖底沉积物中. 我们早先对临夏盆地第四纪湖相地层中碳酸盐和 Cl^- 含量的研究表明这一方法对本区气候变化的揭示是成功的和适用的[8].

图 1 记录了临夏盆地晚新生代以来碳酸盐和 Cl^- 含量在地层中的变化. 可以看出，在距底 340 m 高附近(约 6.87 Ma)，碳酸盐和 Cl^- 含量发生了晚新生代以来最显著的漂移变化，含量急剧增加，并持续至 415 m(约 4.9 Ma)，这一期间(340～415 m)碳酸盐和 Cl^- 含量的平均值

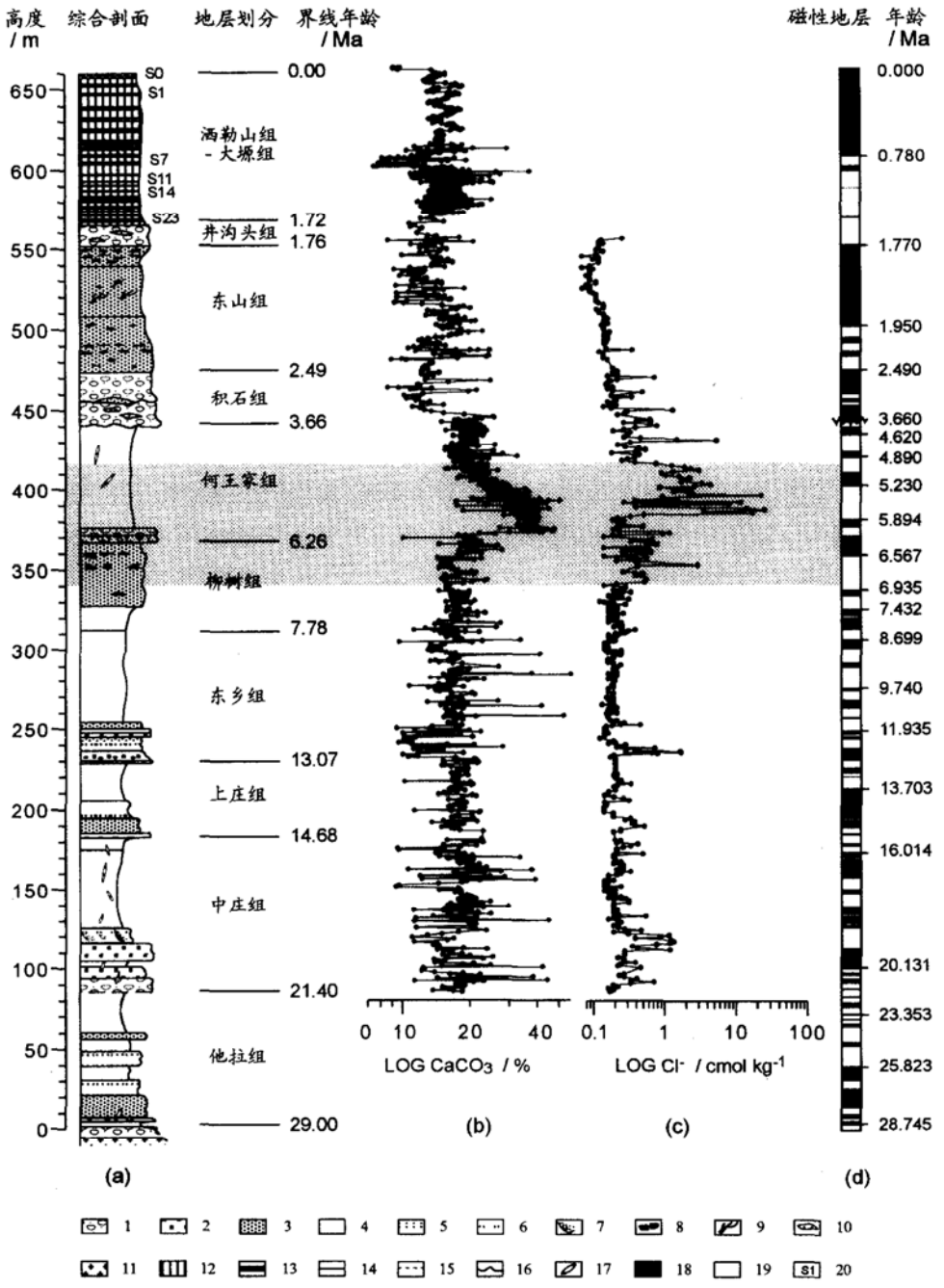

图 1 临夏盆地新生代地层(a)、古地磁测年(d)(引自文献[5],并依最新古地磁测量数据及年表略为修改)及碳酸盐(b)、氯离子含量的变化(c)

阴影区代表中新世晚期和上新世早期的显著干旱时期,起止年龄约为 6.87～4.9 Ma, 1. 砾岩, 2. 砂岩, 3. 粉砂岩, 4. 泥岩, 5. 粉砂泥岩互层, 6. 粉砂质泥岩, 7. 交错层理, 8. 碳酸盐结核, 9. 腐树, 10. 透镜体, 11. 花岗岩, 12. 黄土, 13. 古土壤, 14. 整合接触, 15. 假整合接触, 16. 不整合接触, 17. 石膏, 18. 正磁极, 19. 负磁极, 20. 古土壤序列

分别为 27.8% 和 2.26 cmol·kg^{-1},而且含量的波动非常大,振幅的标准差分别为 50.74% 和

4.68 cmolkg^{-1}，而 340 m 以下直至 91 m(约 6.87～22 Ma)碳酸盐和 Cl^- 含量普遍很低，其平均值分别为 17.98%和 0.25 cmolkg^{-1}，分别低于 340～415 m 区间约 1.6 倍和 9 倍，而且波动幅度较小，尤其是 Cl^-，其振幅的标准差分别为 5.51%和 4.68 cmolkg^{-1}(图 1(b)，(c))．

由于这一段均为以泥岩为主的湖相地层(图 1(a))，因此，以上证据说明临夏古湖在 6.87 Ma 左右曾产生过急剧的收缩，气候快速变干，并伴有强烈的波动，而在此之前的漫长中新世，则主要为温和与湿润的气候环境．

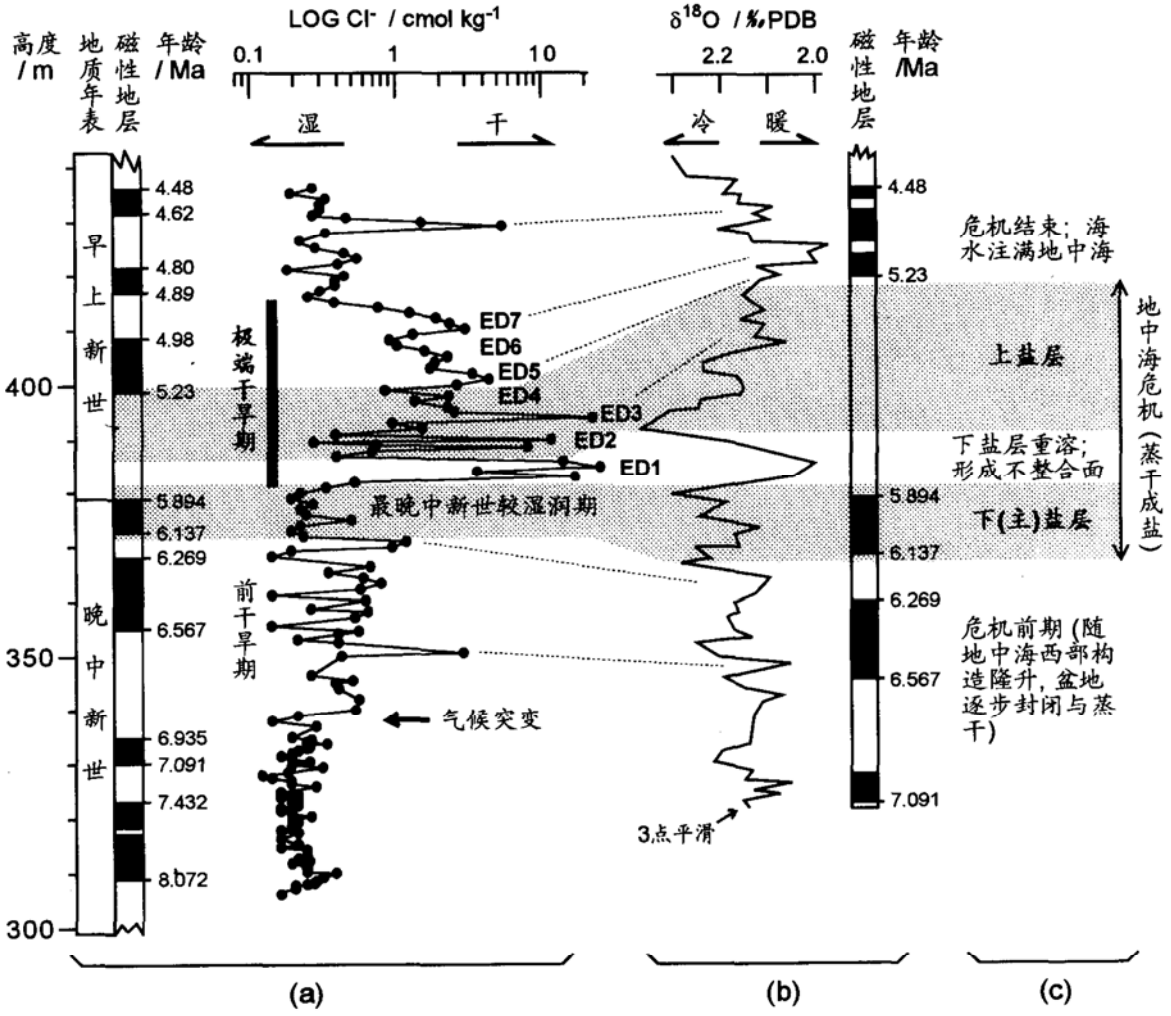

图 2　临夏盆地 Cl^- 含量所揭示的晚中新世-早上新世干旱气候的细节(a)及其与西南太平洋 DSDP558 孔高分辨率氧同位素气候记录[9](b)及地中海事件[3](c)的对比

不仅如此，晚中新世干旱气候的大发展及其内部波动可与世界上已知的许多重大气候事件记录进行对比．西南太平洋 DSDP588 孔氧同位素记录[6]和地中海气候事件的记录[3]是目前所知晚中新世年代控制最好、分辨率最高的气候地层记录(图 2(b)、(c))．我们的记录可与之进行细致的对比(图 2)．临夏晚中新世开始的干旱气候事件按其变化可大致分成 3 个阶段，即前干旱期(约 6.87～6.2 Ma)，最晚中新世较湿润期(约 6.2～5.8 Ma)和最早上新世极端干旱期(约 5.8～4.9 Ma)，而极端干旱期又可细分为 7 个亚期 ED1～ED7(图 2(a))，Cl^- 干旱的峰值对应于氧同位素暖期，而 Cl^- 谷值的湿润对应于氧同位素冷期(图 2(a)、(b))，说明

气候变化的形式主要为暖干和冷湿. 因此,现代意义的亚洲季风可能至少在晚中新世和早上新世还没有形成. 而且前干旱期相当于地中海危机的开始或前期;最晚中新世较湿润期时,全球曾产生晚中新世以来首次最强烈的降温,南极冰盖扩展到最大,海平面发生显著下降[9],导致地中海封闭,蒸干成盐,形成下盐层[3];在极端干旱期的ED1(约5.8~5.7 Ma)最干亚期,全球气温则产生晚中新世以来首次最强烈的升温,海水重新注入地中海,溶解早先的盐层,形成地中海中大范围的不整合面[3];ED2(约5.7~5.46 Ma)是极端干旱期中一个最明显的亚湿润期,全球温度和海面再度急剧下降,地中海再度与大西洋隔绝,形成上盐层[3];ED3~ED7(约5.46~4.9 Ma)是一个Cl^-含量普遍较高而变幅相对较小的时期,基本上反映了一个相对较长的持续极端干旱时期,它可与世界各地广泛记录的早上新世大暖期[9]进行很好的对比,全球冰量显著减少使得海面上升,大西洋海水重返地中海,并以此结束了"地中海盐化危机事件"[3](图2). 张彭熹在分析青藏高原盐湖演化时曾指出上新世是柴达木盆地的第一成盐期[7]. 现在看来,这一成盐期是临夏盆地揭示的晚中新世-早上新世干旱期晚期成盐的表现,而极端干旱期则给出了这一成盐期间气候特征和年代表的详细记录. 因而晚中新世开始的气候变干在中国西北具有普遍性. 我们认为它可能是全球这一时期气候和生态转型变化[2,3]的一部分,气候的变干还可能使得亚洲内陆地面粉尘增加,并经西风输送而为北太平洋深海沉积所记录[10],并非指示此时青藏高原隆起和亚洲季风建立[1].

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:49401017)及国家"八五"攀登联合资助项目.

参 考 文 献

1 Quade J, Cerling T E, Bowman J R. Development of Asian monsoon revealed by marked ecological shift during the latest Miocene in northern Pakistan. Nature, 1989, 342: 163~166

2 Cerling T E, Wang Yang, Quade J. Expansion of C4 ecosystems as an indicator of global ecological change in late Miocene. Nature, 1993, 361: 344~345

3 Hsu K J, Montadert L, Bernouilli D. History of the Mediterranean salinity crisis. Nature, 1977, 267: 399~403

4 Morgan M E, Kingston J D, Marino B D. Carbon isotopic evidence for the emergence of C4 plants in the Neogene from Pakistan and Kenya. Nature, 1994, 367: 162~165

5 李吉均,方小敏,马海州,等. 晚新生代黄河上游地貌演化与环境变迁. 中国科学,D辑,1996,26(4): 316~322

6 Hakanson L, Jansson M. Principles of Lake Sedimentology. Berlin: Springer-Verlag, 1983. 60~95

7 张彭熹. 青藏高原盐源湖几个有关地质问题的讨论. 见:中国科学院盐湖研究所编. 青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化. 北京:科学出版社,1986. 50~58

8 奚晓霞,穆德芬,方小敏,等. 早更新世东山古湖氯离子含量变化与季风演化. 冰川冻土,1996,18(2): 125~130

9 Hodell D A, Elmstrom K M, Kennett J P. Latest Miocene benthic $\delta^{18}O$ changes, global ice volume, sea level and the 'Messinian salinity crisis'. Nature, 1986, 320: 411~414

10 Snoeckx H, Rea D K, Jones C E, et al. Eolian and silica deposition in the central north Pacific: results from sites 885/886. Proc ODP Sci Res, 1995, 145: 219~230

(1997-03-03 收稿,1997-07-07 收修改稿)