

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.02.008

西秦岭北缘漳县渐新统一中新统湖相碳酸盐岩 碳、氧同位素特征及意义

杨晓璇,李雪峰*,郭进京,赵海涛

(天津城建大学地质与测绘学院,天津 300384)

摘要:位于西秦岭北缘的漳县盆地渐新统一中新统时期沉积大量湖相碳酸盐岩,其碳、氧同位素特征对揭示这一时期青藏高原东北缘的古环境和古气候具有重要意义。碳、氧同位素研究表明,漳县盆地湖相碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值介于 $-7.6\text{‰} \sim -2.0\text{‰}$, 平均值为 -5.04‰ ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 值介于 $-9.11\text{‰} \sim -1.12\text{‰}$, 平均值为 -2.10‰ 。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 值与现代封闭湖泊一致,显示漳县盆地在渐新统一中新统是封闭湖泊,古温度平均值为 17℃ , 比现代平均气温高 10℃ 左右,且剖面中含有石膏和芒硝,表明漳县盆地在渐新统一中新统处于较温暖干旱的气候环境;同时,古盐度 Z 值平均值为 116, 所以漳县盆地在该时期是一个封闭的半咸水陆相湖泊。通过 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值可知,其生产力较高,但由于古湖水含有硫酸盐细菌,还原反应影响有机质的保存,故 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值偏负。漳县盆地渐新统一中新统古环境和古气候变化与邻区西宁盆地、循化盆地、临夏盆地和天水盆地的记录基本一致,都是逐渐干旱化。造成这种变化的原因主要是全球气候变化,与青藏高原的强烈隆升关系不大。

关键词:西秦岭;青藏高原东北缘;碳氧同位素;古环境;古气候

中图分类号: P597

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2022)02-0106-10

Characteristics and Significance of C – O Isotopes of Oligocene Miocene Lacustrine Carbonate Rocks in Zhangxian, Northern Margin of West Qinling Mountains

YANG Xiaoxuan, LI Xuefeng*, GUO Jinjing, ZHAO Haitao

(School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: Zhangxian basin, located in the northern margin of the west Qinling mountains, deposited a large number of lacustrine carbonate rocks during the Oligocene-Miocene. Its C and O isotopic characteristics are of great significance to reveal the paleoenvironment and Paleoclimate of the northeastern margin of the Qinghai Tibet plateau during this period $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ values ranged from -7.6‰ to -2.0‰ , with an average of -5.04‰ , $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ values ranged from -9.11‰ to -1.12‰ , with an average of -2.10‰ . $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ value is consistent with that of the modern closed lake, which indicates that Zhangxian basin is a closed lake in Oligocene – Miocene. The av-

收稿日期: 2021-05-28; **修回日期:** 2021-11-11; **网络发表日期:** 2022-05-10; **责任编辑:** 吕鹏瑞

基金项目: 国家自然科学基金项目“西秦岭北缘断裂带新生代构造变形几何学-运动学分析及构造变形演化”(41772215); 天津城建大学科研启动项目“西秦岭北缘断裂带构造活动特征研究”(05147201)资助。

作者简介: 杨晓璇(1997-),女,硕士研究生,地质学专业。E-Mail:510268049@qq.com。

*** 通讯作者:** 李雪峰(1973-),男,副教授,从事地质学、岩土工程和工程地质教学与研究。E-Mail:lix1999@163.com。

average paleotemperature is 17 °C, which is about 10 °C higher than the modern temperature, and the profile contains gypsum and mirabilite, which indicates that Zhangxian basin is in a warm and arid climate environment in Oligocene-Miocene, and the average paleosalinity Z value is 116, Therefore, Zhangxian basin was a closed semi saline continental lake in this period. adopt $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ value shows that the productivity is high, but the reduction reaction affects the preservation of organic matter because of the sulfate bacteria in the ancient lake water $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ was negative. The Oligocene-Miocene paleoenvironment and paleoclimate changes in Zhangxian basin are basically consistent with the Oligocene-Miocene records of Xining basin, Xunhua basin, Linxia basin and Tianshui basin, all of which are gradually arid. The main reason for this change is the global climate change, which has little to do with the rapid uplift of the Qinghai Tibet plateau.

Keywords: west Qinling; Northeast margin of Qinghai Tibet plateau; carbon and oxygen isotopes; paleoenvironment; paleoclimate

青藏高原素有世界第三极之称,具有独特的地质、地貌和自然环境特征,高原隆升是新生代晚期亚洲大陆最伟大的地质事件之一,改变了亚洲构造格局和大气环流,也是造成中国区域分异的主要原因(李吉均等,1979,1998,2001)。青藏高原在形成和演化过程中,向北东向扩展并影响周缘地区。中外学者普遍认为东北缘地区是高原向大陆内部扩展的构造变形前缘且地震活动发育,被誉为成长中的青藏高原,是研究青藏高原的最佳模型(Molnar et al., 1975; Meyer et al., 1998; Tapponnier et al., 2001; 袁道阳等, 2003)。

青藏高原东北缘的西秦岭造山带,位于古亚洲构造域、特提斯构造域和滨太平洋构造域交汇的特殊地段(图 1a),是中国中央造山带的关键部位,同时也是大地构造及地貌景观东西向变更和南北向转换的枢纽(冯益民等, 2003)。西秦岭北缘及邻区发育西宁盆地、循化盆地、临夏盆地、漳县盆地和天水盆地等一系列新生代沉积盆地,盆地的沉积岩记录了东北缘地区新生代大陆构造变形、侵蚀及其相关气候变化的时空格局(Lease et al., 2012)。但前人对东北缘地区新生代构造演化过程及气候环境还存在不同认识。李吉均等(1996, 2001)认为新生代临夏盆地以整合接触为主的前 5 个构造沉积旋回在 3.4Ma 结束,代表沉积环境在 3.4 Ma 发生重大改变,并认为这些砾岩是青藏高原开始隆升或强烈隆升的表现;而 Zhang 等(2001)则认为这些砾岩是由于全球气候变化产生,高原隆升的时间应早于或晚于这一时间;Guo 等(2002)通过对天水盆地沉积物研究,认为这些沉积物是风成粉尘堆积,据此推断亚

洲内陆干旱化的时间开始于 22 Ma 之前;而李吉均等(2006, 2007)在水盆地发现典型的灞河期渭河三趾马等化石,认为沉积演化从下部河道沉积到中部洪泛平原沉积最后转变为浅湖沉积,这说明晚新生代天水盆地气候较湿润,风成粉尘堆积的成因还不清楚。前人对青藏高原沉积盆地研究颇多,但对晚新生代青藏高原快速隆升和亚洲内陆干旱化的时间尚有争议。研究青藏高原东北缘沉积盆地的古环境和古气候不仅可以揭示青藏高原东北缘地壳抬升过程和环境变化规律,同时又可以约束新生代以来青藏高原隆升过程。

西秦岭北缘的漳县盆地位于陇中盆地与青藏高原的过渡地带,对于气候变化敏感,且沉积了新生代新近纪厚度超过千米的砾岩、砂岩和泥岩序列,地层齐全,发育典型湖相沉积。前人重点关注了漳县盆地的构造演化过程、地层特征、砾石特征等,但对漳县盆地的古环境研究不够(王志才等, 2004; 李传友等, 2007; 郭进京等, 2021)。笔者根据漳县盆地渐新统一中新统湖相碳酸盐岩的碳、氧同位素特征,分析了该地区渐新统一中新统的古气候和古环境特征,同时根据区域对比分析了古气候成因。

1 区域地质背景

西秦岭及其邻区自 Rodinia 超级大陆裂解以来,经历了秦祁昆大洋形成演化—俯冲碰撞造山阶段、板内伸展阶段和陆内叠覆造山 3 个重要的演化阶段才形成如今的西秦岭造山带(冯益民等, 2003)。现今的西秦岭造山带是多阶段不同类型、不同方式

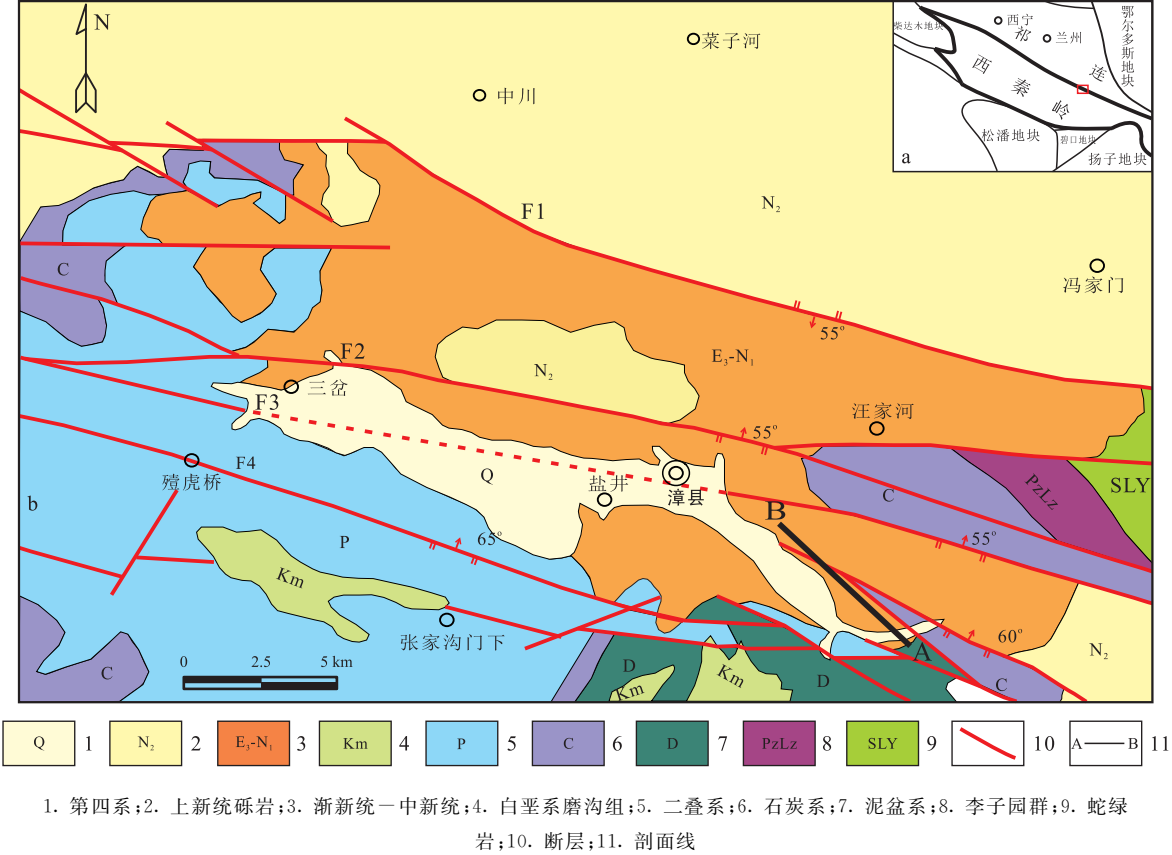


图 1 西秦岭漳县地质图(据郭进京等,2017)

Fig. 1 Geological map of Zhangxian county, west Qinling mountains

造山作用相互叠加共同作用的结果;其在新生代发展为青藏高原东部的一部分,以强烈挤压变形和地壳隆升为特征(孟庆任等,2017)。

漳县盆地位于西秦岭北缘断裂带中部,是新生代中新世形成的伸展断陷盆地(郭进京等,2017)。漳县段主要由 4 条近东西向或北西西向断层(自北而南依次为 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4) 及其夹持的不同时代地层块体组成(图 1b)(郭进京等,2018)。该地区分布着下古生界李子园群(主要由大理岩、黑云二长变粒岩等组成)、鸳鸯镇蛇绿岩(主要由黑云钠长角闪岩、滑石蛇纹岩等组成)、上古生界泥盆系大草滩群(主要由紫红色泥岩、砂质页岩等组成)、石炭系巴都组和下加岭组(主要由灰色中粒砂岩、灰岩等组成)、二叠系大关山组和石关组(主要由深灰色灰岩、页岩和砂岩等组成)等造山带地层、下白垩统河口群和上白垩统磨沟组(主要由紫色页岩、砂岩等组成)、渐新统一中新统红色粗砂岩、上新统红色砂质泥岩及第四系含钙质结核黄土(郭进京等,2016,2017)。漳县

盆地新生代地层横向变化明显,可以分为 3 大层:下部为红褐色-褐红色砾岩及砾岩夹含砾泥岩、粉砂质泥岩;中部为褐红-土红色泥岩及粉砂质泥岩夹灰绿泥岩条带;上部主要岩性为粗砾岩、泥岩、粉砂质泥岩夹细砾岩及砂岩(王志才等,2004)。漳县盆地在渐新统一中新统发育含盐红层沉积旋回,而在红层内发育达千米的灰色和灰黑色泥岩、泥灰岩。研究区内湖相碳酸盐岩出露较好,出露位置包括椿树坪西、雷家坡东、陈家磨东和雷家坡西北,多为灰色泥岩和泥质灰岩,中间夹石膏和芒硝,湖相碳酸盐岩下部为洪积相粗砂砾岩,上部为河流相砂岩泥质砂岩,从下到上整体呈现粗—细—粗的沉积旋回特征(郭进京,2017)。

2 样品采集和实验方法

样品采自漳县盆地中渐新统一中新统中的湖泊自生碳酸盐岩。由于碳酸盐岩中的碳、氧同位素极

易受到成岩后生作用、沉积后的外来热流、生物降解作用等多种因素的影响(张秀莲等,1985),所以在选取测试样品时,应该首先排除受裂缝缝合、风化作用、方解石充填及重结晶作用等因素影响的岩石样品。自上而下共获得 43 个新鲜样品,有 2 个未取得

有效数据,样品岩性为泥灰岩。

2.1 样品采集

采样位置为图 1 中的 AB 剖面线,自下而上分别是椿树坪西、陈家磨东,雷家坡东和雷家坡西北(图 2)。

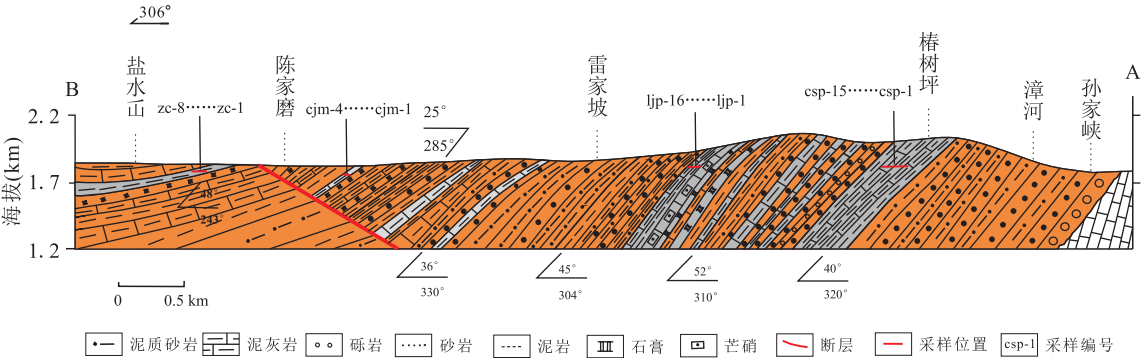


图 2 漳县渐新统一中新统沉积盆地地质剖面图

Fig. 2 Geological profile of Oligocene Miocene sedimentary basin in Zhangxian county

2.2 实验方法

实验测试均在北京锆年领航科技有限公司完成。样品测试采用的是 GasBench II 连续流法,质谱仪为 MAT253。称量约 100 μg 碳酸盐岩样品加入到 12 mL 反应瓶中,每次最多测量样品数为 88 个,其中 18 个为标准样品(分别为 GBW04416、GBW04417、GBW04405 和 GBW04406)。使用高纯氦气(99.999%,流速 100 mL/min)进行 600 s 的排空处理。排空后加入 6 滴 100% 无水磷酸后置于 72 $^{\circ}\text{C}$ 加热盘中反应并平衡(方解石反应及平衡时间大于 4 h,白云岩反应及平衡时间大于 24 h)。样品与磷酸反应且平衡后的 CO_2 气体经过 70 $^{\circ}\text{C}$ 的熔硅毛细管柱(规格为 Poraplot Q, 25 m $\times$ 0.32 mm)而与其他杂质气体分离,进入到 MAT253 质谱仪进行测定。一般 18 个标样测试结果的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 测试精度均高于 0.1‰。结果均采用 V-PDB 标准。

2.3 实验结果

对西秦岭北缘漳县盆地渐新统一中新统湖相碳酸盐岩进行了碳、氧同位素分析,实验结果见表 1,表中温度单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。测试结果表明,湖相碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值为 $-7.6\text{‰} \sim -2.0\text{‰}$,平均值为 -5.04‰ ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 值介于 $-9.11\text{‰} \sim 1.12\text{‰}$,平均值为 -2.10‰ 。

3 西秦岭漳县盆地渐新统一中新统古气候分析

3.1 湖泊的封闭和开放性

开放性湖泊水体更新快,停留时间短,湖水中的碳、氧同位素组分的变化是独立的。而封闭性湖泊水体滞留时间长,温度升高,蒸发作用加强,较轻的 ^{16}O 和 ^{12}C 优先逸出,使得水体中 ^{18}O 和 ^{13}C 含量增加,湖水中碳、氧同位素值则同步增加,所以原生碳酸盐岩碳、氧同位素共同变化。若在 $\delta^{18}\text{O}$ 为横坐标, $\delta^{13}\text{C}$ 为纵坐标, 0 为原点的坐标系中,开放性湖泊相关系数小,其投点落在第 III 象限;封闭性湖泊相关系数一般大于 0.7,其投点多落于 I、IV 象限。漳县盆地的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与世界典型封闭湖泊的 $\delta^{18}\text{O}$ 值几乎一致,但 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏负(图 3),这可能与湖水中含有硫酸盐有关(刘传联等,1998,2001)。因为湖水中的硫酸盐具有还原作用,能使有机质氧化,同时释放 CO_2 和 HCO_3^- ,致使非生物成因的碳酸盐岩富含 ^{12}C ,从而使得 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏负,且剖面中含有的石膏和芒硝证明碳酸盐岩应沉积于封闭性较好的湖泊(刘传联等,1998;刘春莲等,2004)。所以笔者认为漳县盆地在渐新统一中新统应是短暂开放的封闭性湖泊。

表 1 漳县盆地湖相碳酸盐岩碳氧同位素分析测试结果、温度及 Z 值

Tab. 1 Carbon and oxygen isotope analysis and test results, temperature and Z value of lacustrine carbonate rocks in Zhangxian Basin

位置	编号	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ (%)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ (%)	Z 值	温度 (℃)	位置	编号	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ (%)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ (%)	Z 值	温度 (℃)
椿树坪西	csp-1	-5.70	-9.11	111.1	51.46	雷家坡东	ljp-8	-5.59	-1.23	115.2	12.36
	csp-2	-6.00	-8.98	110.5	50.70		ljp-9	-7.58	-9.05	107.3	51.08
	csp-3	-5.96	-0.41	114.9	9.01		ljp-10	-4.03	-1.20	118.5	12.25
	csp-4	-4.91	1.12	117.8	3.12		ljp-11	-3.48	-1.77	119.3	14.67
	csp-5	-4.85	0.53	117.6	5.35		ljp-12	-4.01	0.69	119.4	4.72
	csp-6	-6.16	1.03	115.2	3.45		ljp-13	-4.10	0.11	119.0	6.99
	csp-7	-6.20	0.93	115.1	3.85		ljp-14	-6.15	-1.88	113.8	15.12
	csp-8	-5.21	-1.97	115.7	15.52		ljp-15	-4.49	-4.68	115.8	27.94
	csp-9	-7.60	-0.33	111.5	8.72		ljp-16	-4.87	-5.45	114.6	31.74
	csp-10	-5.65	-1.52	115.0	13.59	陈家磨东	cjm-1	-5.19	-7.81	112.8	44.16
	csp-11	-4.73	-7.47	113.9	42.26		cjm-2	-6.17	-9.11	110.1	51.40
	csp-12	-2.00	-0.04	123.2	7.54		cjm-3	-5.46	-1.76	115.2	14.63
	csp-13	-3.00	-0.72	120.9	10.26		cjm-4	-6.34	-0.70	114.0	10.18
	csp-14	-4.51	0.94	118.6	3.79	雷家坡西北	zc-1	-4.37	-1.44	117.6	13.26
	csp-15	无	无	无	无		zc-2	-3.79	-0.29	119.4	8.54
雷家坡东	ljp-1	-6.86	-1.12	112.7	11.91		zc-3	-3.20	-0.78	120.4	10.52
	ljp-2	-5.41	0.47	116.5	5.56		zc-4	-4.31	-0.90	118.0	10.99
	ljp-3	无	无	无	无		zc-5	-3.54	-2.78	118.7	19.06
	ljp-4	-7.36	-2.18	111.2	16.41		zc-6	-4.62	0.21	117.9	6.57
	ljp-5	-4.14	-0.10	118.9	7.81		zc-7	-4.16	-1.75	117.9	14.57
	ljp-6	-4.81	0.66	117.8	4.84		zc-8	-4.64	-0.10	117.7	7.79
	ljp-7	-5.71	-8.38	111.4	47.28						

3.2 古温度

由于 $\delta^{13}\text{C}$ 值随温度变化较小,所以在盐度变化较小时可用 $\delta^{18}\text{O}$ 作为测定古温度的标志(张秀莲,1985)。在封闭湖泊中,影响湖水氧同位素最重要的因素是蒸发作用,因此湖相自生碳酸盐岩氧同位素的变化反映的是蒸发量/降水量。经过对前人的研究和修改,Shackleton 得出了最终的经验公式:

$$t(\text{℃})=16.9-4.38(\delta\text{C}-\delta\text{O})+0.10(\delta\text{C}-\delta\text{O})^2$$

(1)

$$\delta^{18}\text{O}=1.067\text{LAT}-38.567,R=0.72,P<0.0001$$

(2)

式中 $t(\text{℃})$ 为碳酸盐岩沉淀时的水体温度, $\delta\text{C}-\delta\text{O}$ 为 CaCO_3 和 H_3PO_4 在 25℃ 下作用生成 CO_2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 值和 H_2O 平衡时 CO_2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 值之间的氧

同位素之间的差值。封闭咸水湖泊水体停留时间相对较长,而且受蒸发作用的影响,所以根据“纬度效应”所得出的古大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值并不能准确表示古封闭湖泊的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(李启来,2017)。

根据中国西部 33 个湖泊 $\delta^{18}\text{O}$ 特征,得到了青藏高原地区纬度 $\text{LAT}(\text{°})$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的正相关关系(冯盛楠等,2020),将研究区的纬度 34° 代入公式(2)后的值代入公式(1)得到古温度,范围为 $3.1\sim 51.5\text{℃}$,平均温度为 17℃ ,比现代平均气温高 10℃ 左右,说明研究区在渐新统一中新统属于较温暖的气候。

3.3 古盐度

湖泊水体盐度随蒸发/降水量的变化而变化,而蒸发/降水量的变化与氧同位素的变化趋同,因此可

以通过氧同位素的变化趋势还原古盐度的变化趋势。 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 结合起来可以指示古盐度: $Z = 2.048 \times (\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.498 \times (\delta^{18}\text{O} + 50)$, 式中, δ 为 PDB 标准。当 $Z > 120$ 时, 为海相灰岩; 当 $Z < 120$ 时, 为陆相灰岩; 当 $Z = 120$ 时, 为未定型灰岩 (Keith et al., 1994)。通过计算, 漳县盆地的 Z 值略小于 120, 说明此区域为陆相泥灰岩, 相对于其他陆相淡水湖泊来说盐度高, 且整个剖面的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 值明显偏正, 说明整体上漳县盆地在渐新统一中新统都处于蒸发量大于降水量的状态, 属于半咸水陆相湖泊。

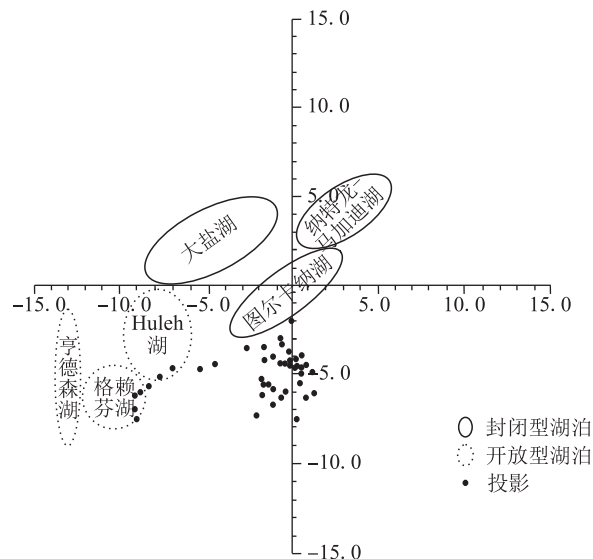


图3 漳县盆地湖相碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 在现代开放型和封闭型湖泊原生碳酸盐岩分布区投影图

(据 TALBOL et al., 1990; 刘传联等, 2001)

Fig. 3 Lacustrine carbonate rocks in Zhangxian basin $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ projection in the distribution area of primary carbonate rocks in modern open and closed lakes

3.4 古生产力

封闭性较好的湖泊的生产力是控制 $\delta^{13}\text{C}$ 值的一个重要因素 (余俊清等, 2004; Gasse et al., 1987)。浮游植物的繁盛程度决定湖泊生产力高低, 浮游植物与其光合作用吸收的 ^{12}C 成正相关关系, 浮游植物多, 其吸收的 ^{12}C 也多, 则湖泊生产力高, 从而使得自生碳酸盐岩中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值高, 反之则生产力低 (Talbol et al., 1990; 刘传联等, 1998; 郭金春等, 2008)。影响碳酸盐岩中 $\delta^{13}\text{C}$ 值的另一个重要因素是湖水中硫酸盐的含量 (Talbol et al., 1990)。

前面已经提到, 在咸水环境下, 硫酸盐的还原作用会影响有机质的保存 (Bertrand et al., 1993)。由于漳县盆地在渐新统一中新统主要为封闭湖泊, 浮游植物为主要的有机物来源, 同时硫酸盐含量较高, 损失的有机碳含量高, 那么沉积碳酸盐岩中保存的有机质含量偏低, 且发育有干旱条件下的半咸水蒸发湖泊沉积产物, 如石膏和芒硝。

综上所述, 漳县盆地在渐新统一中新统湖泊生产力较高, 但由于硫酸盐的还原作用使得碳酸盐岩中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏负。

4 讨论

青藏高原东北缘在渐新统一中新统的古气候变化记录较为丰富, 将研究区域与周缘盆地在渐新统一中新统气候特征对比, 发现它们具有相似性。西宁盆地 8.25 Ma 时的古生物化石显示该地区在渐新统一中新统为温暖的亚热带半干旱气候 (胥彪, 2017), 这与该地区孢粉组合特征所揭示的气候特征一致 (孙秀玉等, 1984)。临夏盆地在这一时期也表现出干旱化加强的特征, 根据沉积物元素特征, 该地区 6.2 Ma 以后干旱化逐渐加剧 (宋春晖等, 2007), 红层孢粉植物群指示该地区在渐新统一中新统气候演变的总趋势为变冷、变干 (马玉贞等, 1998)。循化盆地沉积地层中常量、微量元素组成特征指示该地区在渐新统一中新统气候经历了干冷→暖湿→暖干→干冷的变化 (叶荷等 2010; 骆满生, 2010); 该地区的落叶阔叶林孢粉特征也显示其在中新世中期为温暖的气候 (季军良等, 2013), 并在约 8 Ma 以后出现了干旱化加剧的特征 (王粉丽等, 2010)。沉积物元素特征和孢粉记录显示天水盆地的气候也是由暖湿逐渐转变为干冷 (侯战方等, 2011)。与渐新统一中新统相对温暖干旱的气候一样, 漳县盆地的碳、氧同位素特征指示该地区在渐新统一中新统的气候处于温暖少雨的干旱气候。综合分析, 青藏高原东北缘在渐新统一中新统期间整体都是由暖湿向干冷逐渐转变, 并在晚中新世干旱化加剧。

对于晚中新世气候干冷的原因仍存在争议, 一种观点认为在中新世青藏高原快速隆升, 从而诱发了现代亚洲季风, 导致气候变化; 另一种观点认为在

上新世青藏高原才强烈隆升,全球变冷是主要影响因素。从区域看,青藏高原东北缘的气候在中新世主要是受全球气候变化的影响。贵德盆地的哺乳动物化石特征指示青藏高原 3.6 Ma 和 1.8 Ma 时期才发生了整体快速隆升(宋春晖等,2003);对临夏盆地的石英砂所作的扫描电镜分析结果表明,青藏高原在 3.6~2.6 Ma 才急剧隆起(王建力等,2000),方小敏等(1997)将中国西部晚中新世干旱气候与世界上已知的许多重大气候事件记录进行对比,认为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。根据上新统韩家沟砾岩沉积组合特征,分析青藏高原东北缘在上新世大规模抬升才卷入现今青藏高原构造系统(郭进京等,2021)。这些证据表明,在渐新统一中新统期间,青藏高原的强烈隆升并不是青藏高原东北缘气候变化的主导因素。青藏高原东北缘在渐新统一中新统暖湿向干冷且干旱化加剧的气候变化可能由于在中新世中晚期青藏高原隆升到可以改变大气环流的高度,阻遏了西南印度洋和南太平洋携带湿润气流到达或很少到达该区域导致逐渐干旱的气候特征,且地球 Mi-1 冰期也发生在晚新生代(Zachos et al., 2001),全球气温下降,南极冰盖扩张,导致气候在中新世中晚期开始变冷变干。

5 结论

(1)漳县盆地 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值为 $-7.6\text{‰} \sim -2.0\text{‰}$, 平均值为 -5.04‰ ; $\delta^{13}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 值为 $-9.11\text{‰} \sim -1.12\text{‰}$, 平均值为 -2.1‰ 。该盆地 $\delta^{13}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 与世界典型封闭湖泊一致,但 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 偏负,这是由于古湖水含有硫酸盐细菌产生还原反应不利于有机碳保存的缘故。

(2)漳县盆地在渐新统一中新统是一个短暂开放的封闭性湖泊,古温度平均为 $17\text{ }^{\circ}\text{C}$,比现代平均气温高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,所以该区渐新统一中新统属于较温暖干旱的气候环境,Z 值平均值接近 120,为陆相的半咸水湖泊,且古湖泊生产力较高。

(3)通过对邻区西宁盆地、临夏盆地、循化盆地和天水盆地在渐新统一中新统气候变化特征的对比表明,漳县盆地与邻区的气候变化特征一致。青藏

高原东北缘在渐新统一中新统气候由暖湿转向干旱且干旱化加剧的原因是因为全球气候的变化,而不是青藏高原的强烈隆升。

参考文献(References):

- 方小敏,奚晓霞,李吉均,等. 中国西部晚中新世气候变干事件的发现及其意义[J]. 科学通报, 1997, 42(23): 2521-2524.
- FANG Xiaomin, XI Xiaoxia, LI Jijun, et al. Discovery and significance of late Miocene climate drying event in Western China[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(23): 2521-2524.
- 冯盛楠,刘兴起,李华淑. 中国西部湖泊水体 δD 与 $\delta^{18}\text{O}$ 的空间变化特征及其影响因素[J]. 湖泊科学, 2020, 32(4): 1199-1211.
- FENG Shengnan, LIU Xingqi, LI Huashu. Spatial variations of δD and $\delta^{18}\text{O}$ in lake water of western China and their controlling factors[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(4): 1199-1211.
- 冯益民,曹宣铎,张二朋,等. 西秦岭造山带的演化、构造格局和性质[J]. 西北地质, 2003, 36(1): 1-10.
- FENG Yimin, CAO Xuanduo, ZHANG Erpeng, et al. Tectonic evolution framework and nature of The West Qinling orogenic belt[J]. Northwestern Geology, 2003, 36(1): 1-10.
- 郭进京,韩文峰,胡晓隆,等. 西秦岭北缘漳县新生代伸展断陷盆地确定及其地质意义[J]. 地学前缘, 2017, 24(5): 230-244.
- GUO Jinjing, HAN Wenfeng, HU Xiaolong, et al. Cenozoic extensional rift Basin in the northern margin of Western Qinling: constraints on the remote tectonic responses to the India-Eurasia collision in the northeastern margin of Tibetan Plateau[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(5): 230-244.
- 郭进京,张琛,吉夏,等. 西秦岭北缘一个新生代伸展型角度不整合及其地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(10): 1831-1841.
- GUO Jinjing, ZHANG Chen, JI Xia, et al. A Cenozoic extensional angular unconformity on the northern margin of West Qinling Mountain and its geological significance

- [J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(10): 1831-1841.
- 郭进京, 韩文峰, 赵海涛, 等. 西秦岭北缘漳县中—新生代红层地层格架厘定及其地质意义[J]. 西北地质, 2016, 49(1): 82-91.
- GUO Jinjing, HAN Wenfeng, ZHAO Haitao, et al. Stratigraphic framework of Mesozoic—Cenozoic red bed in Zhang County, Northern margin of Western Qinling and its geological significance[J]. Northwestern Geology, 2016, 49(1): 82-91.
- 郭进京, 赵海涛, 刘重庆, 等. 青藏高原东北缘何时卷入现今青藏高原构造系统? ——以西秦岭北缘构造带漳县盆地为例[J]. 地学前缘, 2021, 28(5): 337-361.
- GUO Jinjing, ZHAO Haitao, LIU Chongqing, et al. When was the northeastern margin of the Qinghai Tibet Plateau involved in the present tectonic system of the Qinghai-Tibet plateau? -Taking Zhangxian Basin in the northern margin of West Qinling as an example[J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28(5): 337-361.
- 郭金春, 马海州, 宋恩玉, 等. 湖泊碳酸盐在过去环境变化研究中的应用[J]. 盐湖研究, 2008, 16(2): 66-72.
- GUO Jinchun, MA Haizhou, SONG Enyu, et al. Applications of lacustrine carbonate in paleoenvironment research[J]. Journal of Salt Lake Research, 2008, 16(2): 66-72.
- 侯战方, 张军, 宋春晖, 等. 青藏高原天水盆地中新世沉积物碳氧同位素对古气候演化的指示[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(3): 69-78.
- HOU Zhanfang, ZHANG Jun, SONG Chunhui, et al. The oxygen and carbon isotopic records of Miocene sediments in the Tianshui Basin of the Northeastern Tibetan Plateau and their paleoclimatic implications[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(3): 69-78.
- 季军良, 洪汉烈, 肖国桥, 等. 青藏高原新近纪重大气候事件演化序列[J]. 地质通报, 2013, 32(1): 120-129.
- JI Junliang, HONG Hanlie, XIAO Guoqiao, et al. Evolutionary sequences of the Neogene major climate events in the Tibetan Plateau[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(1): 120-129.
- 李传友, 张培震, 张剑玺, 等. 西秦岭北缘断裂带黄香沟段晚第四纪活动表现与滑动速率[J]. 第四纪研究, 2007, 27(1): 54-63.
- LI Chuanyou, ZHANG Peizhen, ZHANG Jianxi, et al. Late-Quaternary activity and slip rate of the Western Qinling fault zone at Huangxianggou[J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(1): 54-63.
- 李吉均, 方小敏, 潘保田, 等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 381-391.
- LI Jijun, FANG Xiaomin, PAN Baotian, et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang Plateau and its impacts on environments in surrounding area[J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 381-391.
- 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究[J]. 科学通报, 1998, 43(15): 1569-1574.
- LI Jijun, FANG Xiaomin. Uplift of Qinghai Tibet Plateau and environmental change[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(15): 1569-1574.
- 李吉均, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨[J]. 中国科学, 1979, 9(6): 608-616.
- LI Jijun, WEN Shixuan, ZHANG Qingsong, et al. Discussion on the age, amplitude and form of the uplift of the Qinghai Tibet Plateau[J]. Scientia Sinica, 1979, 9(6): 608-616.
- 李吉均, 方小敏, 马海洲, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(4): 316-322.
- LI Jijun, FANG Xiaomin, MA Haizhou, et al. Geomorphological evolution of the upper reaches of the Yellow River in the late Cenozoic and uplift of the Qinghai Tibet Plateau[J]. Scientia Sinica Terrae, 1996, 26(4): 316-322.
- 李吉均, 张军, 宋春晖, 等. 陇中盆地湟河期地层的发现及意义[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2007, 37(1): 52-60.
- LI Jijun, ZHANG Jun, SONG Chunhui, et al. Miocene Bahean stratigraphy in the Longzhong Basin, northern central China and its implications in environmental change[J]. Scientia Sinica Terrae, 2007, 37(1): 52-60.
- 李启来. 西藏尼玛地区古近系牛堡组古湖平面变化的沉积地球化学记录[D]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- LI Qilai. Sedimentary geochemistry and lake-level changes from the Paleogene Niubao Formation of Nima area, Tibet[D].

- Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017.
- 刘传联. 东营凹陷沙河街组湖相碳酸盐岩碳氧同位素组分及其古湖泊学意义[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 109-114.
- LIU Chuanlian. Carbon and Oxygen isotopic compositions of lacustrine Carbonates of the Shahejie formation in the Dongying depression and their paleolimnological significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 109-114.
- 刘传联, 赵泉鸿, 汪品先. 湖相碳酸盐岩碳同位素的相关性与生油古湖泊类型[J]. 地球化学, 2001, 30(4): 363-367.
- LIU Chuanlian, ZHAO Quanhong, WANG Pinxian. Correlation between carbon and oxygen isotopic ratios of lacustrine carbonates and types of oil-producing paleolakes[J]. Geochimica, 2001, 30(4): 363-367.
- 刘春莲, Franz T Fürsich, 白雁, 等. 三水盆地古近系湖相沉积岩的氧、碳同位素地球化学记录及其环境意义[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 36-40.
- LIU Chunlian, Franz T Fürsich, BAI Yan, et al. Palaeogene environmental changes deduced from stable isotopic data from bulk Carbonates in the Sanshui Basin, South China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 36-40.
- 骆满生, 吕欣蕾, 张克信, 等. 青海循化盆地中新世中期—上新世早期介形类组合及其地质意义[J]. 微体古生物学报, 2010, 27(2): 125-134.
- LUO Mansheng, LÜ Xinlei, ZHANG Kexin, et al. Middle Miocene—Early Pliocene ostracod assemblages in the Xunhua Basin, Qinghai and their geological significance[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2010, 27(2): 125-134.
- 马玉贞, 李吉均, 方小敏. 临夏地区 30.6—5.0Ma 红层孢粉植物群与气候演化记录[J]. 科学通报, 1998, 43(3): 301-304.
- MA Yuzhen, LI Jijun, FANG Xiaomin, et al. Palynoflora and climatic evolution records of the red beds in Linxia area during 30.6-5.0Ma[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(3): 301-304.
- 孟庆任. 秦岭的由来[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2017, 47(4): 412-420.
- MENG Qingren. Origin of the Qinling Mountains[J]. Scientia Sinica Terrae, 2017, 47(4): 412-420.
- 宋春晖, 方小敏, 李吉均, 等. 青海贵德盆地晚新生代沉积演化与青藏高原北部隆升[J]. 地质论评, 2003, 49(4): 337-346.
- SONG Chunhui, FANG Xiaomin, LI Jijun, et al. Sedimentary evolution of the Guide Basin in the Late Cenozoic and the uplift of the Qinghai—Tibet Plateau[J]. Geological Review, 2003, 49(4): 337-346.
- 宋春晖, 鲁新川, 邢强, 等. 临夏盆地晚新生代沉积物元素特征与古气候变迁[J]. 沉积学报, 2007, 25(3): 409-416.
- SONG Chunhui, LU Xinchuan, XING Qiang, et al. Late Cenozoic element characters and palaeoclimatic Change of the Lacustrine sediments in Linxia Basin, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(3): 409-416.
- 孙秀玉, 赵英娘, 何卓生. 青海西宁—民和盆地渐新世至中新世孢粉组合[J]. 地质论评, 1984, 30(3): 12-21+108.
- SUN Xiuyu, ZHAO Yingniang, HE Zhuosheng. The Oligocene—Miocene palynological assemblages from the Xining—Minhe Basin Qinghai province[J]. Geological Review, 1984, 30(3): 12-21+108.
- 王志才. 青藏高原东北缘新生代以来的构造变形特征与时空演化: 以陇西—武山地区为例[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2004.
- WANG Zhicai. Cenozoic tectonic deformation and evolution of the Northeastern margin of the Tibetan Plateau: A case study of Longxi-Wushan region[D]. Beijing: Institute of Geology, Seismological Bureau of China, 2004.
- 王粉丽, 洪汉烈, 殷科, 等. 循化盆地中新世沉积物粘土矿物的特征及其古气候指示[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010, 35(5): 828-838.
- WANG Fenli, HONG Hanlie, YIN Ke, et al. Clay mineralogy and its paleoclimatic indicator of the Miocene sediments of Xunhua Basin[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2010, 35(5): 828-838.
- 王建力, 方小敏. 临夏盆地晚中新世以来的风沙沉积及环境意义[J]. 地理科学, 2000, 20(3): 259-263.
- WANG Jianli, FANG Xiaomin. Eolian sand deposition and its environmental significance in Linxia Basin since middle Miocene[J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(3): 259-263.
- 胥彪. 晚中新世西宁盆地沉积演化及环境变化[D]. 北京:

- 中国地质大学, 2017.
- XU Biao. Late Miocene sedimentary evolution and environmental changes in Xining Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2017.
- 叶荷, 张克信, 季军良, 等. 青海循化盆地 23.1~5.0Ma 沉积地层中常量、微量元素组成特征及其古气候演变[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010, 35(5): 811-820.
- YE He, ZHANG Kexin, JI Junliang, et al. Major and trace element characters of the sediments and paleoclimatic evolution during about 23.1—5.0Ma in Xunhua Basin, Qinghai[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2010, 35(5): 811-820.
- 余俊清, 王小燕, 李军, 等. 湖泊沉积有机碳同位素与环境变化的研究进展[J]. 湖泊科学, 2001, 13(1): 72-78.
- YU Junqing, WANG Xiaoyan, LI Jun, et al. Paleoenvironmental interpretations on organic Carbon isotopic records from lake sediments: a critique[J]. Journal of Lake Sciences, 2001, 13(1): 72-78.
- 袁道阳. 青藏高原东北缘晚新生代以来的构造变形特征与时空演化[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2003.
- YUAN Daoyang. Tectonic deformation features and space-time evolution in Northeastern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau since the late Cenozoic time[D]. Beijing: Institute of Geology, Seismological Bureau of China, 2003.
- 张秀莲. 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系[J]. 沉积学报, 1985, 3(4): 17-30.
- ZHANG Xiulian. Relationship between stable oxygen and carbon isotopes in carbonate rocks and paleosalinity and paleotemperature [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(4): 17-30.
- Bertrang P, Lallier V E, Boussafir M. Enhancement of accumulation and anoxic degradation of organic matter controlled by cyclic productivity: a model[J]. Organic Geochemistry, 1994, 22(3-5): 511-520.
- Gasse F, Fontes J C, Plaziat J C, et al. Biological remains, geochemistry and stable isotopes for the reconstruction of environmental and hydrological changes in the Holocene lakes from North Sahara[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1987, 60: 1-46.
- Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, et al. Onset of Asian desertification by 22Myr ago inferred from loess deposits in China[J]. Nature, 2002, 416: 159-163.
- Keith M L, Weber J N. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1964, 28(10-11): 1787-1816.
- Lease R O, Burbank D W, Hough B, et al. Pulsed Miocene range growth in northeastern Tibet: Insights from Xunhua Basin magnetostratigraphy and provenance[J]. Geological Society of America Bulletin, 2012, 124(5-6): 657-677.
- Li JJ, Zhang J, Song C H, et al. Miocene Bahean stratigraphy in the Longzhong Basin, northern central China and its implications in environmental change[J]. Science in China Series D Earth Sciences, 2006, 49(12): 1270-1279.
- Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L, et al. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet Plateau[J]. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 2010, 135(1): 1-47.
- Molnar P H, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision[J]. Nature, 1975, 189(4201): 419-426.
- Pei ZZ, Molnar P, Downs W R. Increased sedimentation rates and grain sizes 2-4 Myr ago due to the influence of climate change on erosion rates[J]. Nature, 2001, 410(6831): 891-897.
- Talbot M R, Kells K. Paleolimnological signatures from carbon and oxygen isotopic ratio in carbonates from organic carbon rich lacustrine sediments[J]. AAPG Memoir, 1990, 50(6): 61-76.
- Tapponnier P, Xu Z, Roger F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau[J]. Science, 2001, 294(5547): 1671-1677.
- Zachos J, Pagani M, Sloan L, et al. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65Ma to present[J]. Science, 2001, 292(5517): 686-693.