

第四纪以来酒泉盆地环境演变与祁连山隆升

苏建平^{1,2)} 仵彦卿¹⁾ 李麒麟²⁾ 张应华¹⁾ 温小虎¹⁾

1)中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州,730000;2)甘肃省地质调查院,甘肃 兰州,730000

摘 要 地处青藏高原东北缘的祁连山系是晚新生代以来构造隆升的结果,酒泉盆地的沉积记录了祁连山隆升的过程;第四纪以来,在青藏高原强烈隆升的影响下,酒泉盆地的古地理环境演化变迁经历了漫长和复杂的过程。本文主要依据区内祁连山的冰期及冰川变化、第四纪地层特征及历史文化记录,结合酒泉黄泥堡乡第四纪研究钻孔资料中的孢粉分析成果等,在酒泉盆地第四纪以来建立了交替演化的 12 个寒冷期和 12 个温暖期,并分析了酒泉盆地第四纪沉积所记录的环境演变与祁连山隆升之间的关系,认为第四纪以来 2 500 ka 左右的“青藏运动 B 幕”之后,900 ka 左右的“昆仑-黄河运动”之后和 150 ka 左右的“共和运动”之后随着青藏高原及祁连山的不断隆升,酒泉盆地的气候环境发生了三次大的转型。

关键词 第四纪 环境演变 酒泉盆地 祁连山隆升

Environmental Evolution of the Jiuquan Basin and Its Relation with the Uplift of the Qilian Mountains since the Quaternary

SU Jianping^{1,2)} WU Yanqing¹⁾ LI Qilin²⁾ ZHANG Yinhu¹⁾ WEN Xiaohu¹⁾

1) Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou, Gansu, 730000;

2) Institute of Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou, Gansu, 730000

Abstract The Qilian Mountains located in the northeastern margin of Tibetan Plateau are products of the tectonic uplift since late Cenozoic, and the deposition of Jiuquan basin kept a record of the uplift process of the Qilian Mountains. During Quaternary, the paleogeography and environmental evolution of Jiuquan basin experienced a prolonged and complicated process, intensely affected by the uplift of Tibetan Plateau. According to such factors as the ice age and glacier change, the characteristics of Quaternary strata, the historical and cultural records and the palynological records in the Q_{y1} drill hole at Jiuquan, the authors divided the Quaternary environment at Jiuquan basin into alternate 12 cold periods and 12 warm periods. The relation between the environmental evolution of Jiuquan basin and the uplift of the Qilian Mountains is discussed and a conclusion is drawn that there have been three great climatic shifts in the Jiuquan basin since Quaternary, which occurred respectively after “Series B of Qinghai-Tibetan tectonic movement” (about 2 500 ka B P), after “Kunlong-Huanghe tectonic movement” (about 900 ka B P) and after “Gonghe tectonic movement” (about 150 ka B P).

Key words Quaternary environmental evolution Jiuquan basin uplift of the Qilian Mountains

青藏高原的强烈隆升是新生代地质历史上的重大事件,巨大高原的出现不仅改变了自身和周边地区的环境,而且对全球气候变化也产生了重大影响(Li, 1991; Coleman 等, 1995; Molnar 等, 1993; Rudiman 等, 1989; 施雅风等, 1999; 李吉均等, 1998; 尹安, 2001)。地处青藏高原东北缘的祁连山系的形成是喜马拉雅期造山运动构造隆升的结果,构造隆升和水系切割奠定了现今祁连和酒泉的山-盆的地貌格局(图 1)。

1 第四纪沉积特征

酒泉盆地位于青藏高原东北缘祁连山北麓前陆盆地系的西端,南以祁连山北缘断裂为界,北以龙首山-黑山-宽台山为界,西靠阿尔金断裂,东以榆木山隆起与张掖盆地相邻,中间以嘉西-文殊山隆起为界,可分为酒东、酒西两个次一级盆地。据剖面 and 钻孔资料显示,盆地第四纪沉积由下至上可划分为玉门砾岩组、酒泉砾石组、戈壁砾石组和全新世沉积。

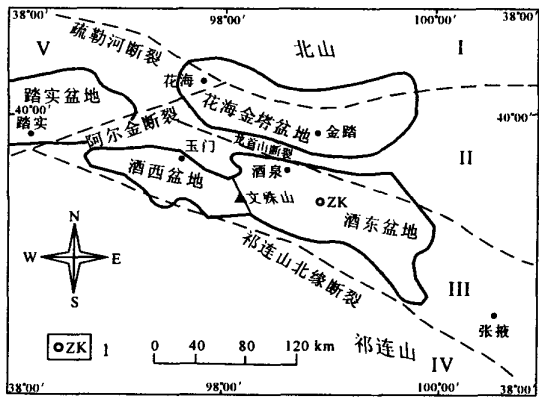


图 1 酒泉盆地构造位置图

Fig. 1 location of the Jiuquan basin

I-北山褶皱带; II-阿拉善地块; III-河西走廊过渡带;

IV-祁连山褶皱带; V-阿尔金地块; 1-黄泥堡钻孔位置

I-Northern mountains fold belt; II-Alxa massif; III-Hexi corridor transitional-belts; IV-Qilian fold belt; V-Altun massif;

1-Huangnibu drill location

玉门砾岩组:该组为一套砾岩、砂砾岩夹砂岩透镜体,内含少量巨砾或岩块漂砾沉积。与下伏第三系疏勒河组呈角度不整合接触。厚度大于 600 m。该套地层岩性岩相变化较大,在黄泥堡一带下部为黄褐色、淡黄色粉砂岩、砂岩与细砂岩、中粗砂岩及砂砾岩互层。向上变为灰黄色巨厚层中细粒砂岩、粉砂岩夹薄层褐黄色粉砂土。上部岩石无层理,呈半胶结状,粉砂岩致密坚硬,见浅灰色及黑色斑点;下部砂岩、砂砾岩分选性好,磨圆度高,砂岩具一定的层理。该组下部为河流相沉积,上部为湖相沉积。

酒泉砾石组:山前为一套洪积及冲洪积的砂砾卵及亚砂土,向北为冲积、湖积的亚砂土、亚粘土,粘土及砂砾卵石为主,厚度数十米至百余米不等。

戈壁砾石组:该组为洪积及冲洪积的砂砾卵及亚砂土,砂碎石及黄土状亚砂土、亚粘土,向北变为以冲积和湖积的亚砂土、亚粘土、粘土及砂砾卵石为主,厚度数十米不等。

全新统:按成因类型有冲积、洪积、冲洪积、风积、湖积、残积、沼泽沉积等。厚度一般小于 10 m。

曹兴山(1997a, 1997b)根据区域地质和古地磁测年将酒泉盆地第四纪下限确定为 2 480 ka,中更新世下限确定为 730 ka,晚更新世下限确定为 200 ka,全新世下限确定为 12 ka。

2 第四纪环境演变

第四纪以来,酒泉地区在青藏高原强烈隆升机制的影响下,古地理环境及其变迁演化过程是漫长和复杂的,本文主要依据区内祁连山的冰期及冰川

变化(刘东生等,1999;周尚哲等,2001;史正涛等,2000)、第四纪地层特征(曹兴山,1997a, 1997b;宋春晖等,2001;李朋武等,2001),另结合甘肃地质矿产局水文二队在酒泉黄泥堡乡所在地进行的第四纪研究钻孔资料中的孢粉分析成果(图 2;曹兴山,1997b)、岩石风化系数、CaCO₃ 含量、历史记录(吴宏岐等,1998;竺可桢,1972)和古地磁、热释光、¹⁴C 年代测定等测年手段,在酒泉地区第四纪以来建立了 12 个寒冷期和 12 个温暖期(表 1)。

早更新世早期(2 250~1 280 ka),酒泉地区第四纪以来第一次寒冷期到来,山区气温普遍下降,从而在祁连山北麓沉积了大规模的砾岩(玉门砾岩组),盆地内形成砂土、亚粘土与卵石互层的沉积物,该期为寒冷期,且持续时间长,植被不发育,地层中孢粉很少或不含孢粉,木本植物有少量喜阴凉的暗针叶植物松属,草本植物有少量而干旱的蒿、藜、禾本科和菊科。气候干旱多风。

早更新世中期(1 280~1 050 ka),气候逐渐变暖,盆地中沉积范围扩大,沉积物由湖积的砂、亚砂

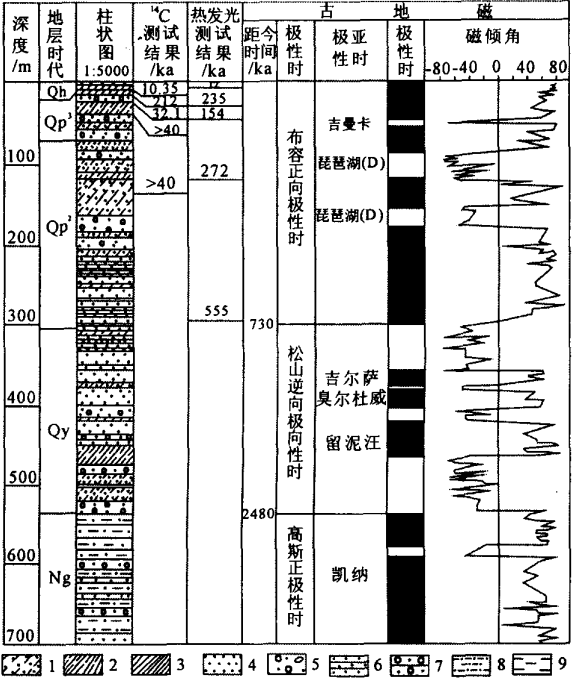


图 2 酒泉黄泥堡钻孔古地磁等测年成果
(据曹兴山,1997b)

Fig. 2 Dating results from the drill of Huangnibu, Jiuquan basin (after Cao, 1997b)

1-亚砂土;2-亚粘土;3-粘土;4-中细砂;5-砂砾卵石;
6-砂岩;7-砂砾岩;8-砂质泥岩;9-泥岩

1-sub-sand; 2-sub-clay; 3-clay; 4-middle and fine sand; 5-sand, gravel and scree; 6-sand stone; 7-sand stone and conglomerate; 8-mud stone containing sand; 9-mud stone

表 1 酒泉盆地第四纪环境演化表
Table 1 Quaternary environmental evolvement
of the Jiuquan basin

时代	古地磁、 ¹⁴ C、 热释光年龄 /ka B P	持续时间 /ka	气候特征
晚	0.0~0.15	0.15	现代温暖期
	0.15~0.6	0.45	明清干冷期
	0.6~0.75	0.15	元代温暖期
	0.75~1	0.25	宋代干冷期
	1~1.5	0.1	隋唐暖湿期
全新世	1.5~2	0.5	汉晋南北朝干冷期
	2~2.95	0.95	周秦汉暖湿期
	2.95~3.2	1.53	周初干寒期
	3.2~3.4	0.2	殷虚暖湿期
	3.4~4.5	1.1	夏商干冷期
中	4.5~5	0.5	仰韶时期暖湿期
	5~7	2	干冷期
早	7~10	3	温暖期
	10~12	2	干冷期
晚	12~16	4	温暖湿润期
	16~3	14	干冷期
	30~40	10	温暖湿润期
	40~60	20	干旱寒冷多风期
	60~150(150“共和运动”)	90	温暖湿润期
更新世	150~240	90	干冷多风期
	240~360	120	温暖偏湿期
	360~1050(900“黄昆运动”)	690	干旱寒冷多风期
早	1050~1280	230	温暖偏湿期
	1280~2250(1800“青藏运动 C 幕”)(2500“青藏运动 B 幕”)	1030	干旱寒冷多风期

组成,植被发育,主要有喜阴凉的暗针叶松属和喜温暖的阔叶植物漆属、桦属、榆属和喜湿热的第三纪孑遗植物枫香等,草本植被主要有耐旱的蒿、藜、禾本科、菊等。反映为气候温暖湿润的森林草原景观。

早更新世晚期至中更新早期(1 050~360 ka),气候逐渐变冷随之第二次内堆积寒冷期到来,在祁连山出现冰川活动,山区保留冰碛物,冰碛物由于受后期构造和沉积物的破坏现只在最高一级冰碛台地零星分布(周尚哲等,2001;史正涛等,2000),此时植被不发育。根据区域资料,黄泥堡钻孔岩性、古地磁、热释光等研究大概在 940~555 ka B P 之间,酒泉盆地基底断块复活,形成区域性抬升,酒泉市北的夹山上升,酒泉盆地和金塔盆地分开,文殊山的上升和嘉峪关断层的复活,使酒泉盆地分为东西两个盆地(图 1),该期虽已形成疏勒河、北大河、洪水坝河,但往往被袭夺改道或绕道而流。该区风蚀和风力搬运作用加强,气候为干寒多风,呈荒漠、岩漠景观。

中更新世中、晚期(360~240 ka)第二次温暖期到来,祁连山冰川退缩,侵蚀和剥蚀作用加强,酒泉

盆地湖泊范围扩大,湖盆内沉积大面积的亚粘土和亚砂土。由于气候变暖,该区出现了大量的亚热带植物群落,木本植物有喜阴凉的暗针叶植物松属、云杉属、冷杉属和喜温暖湿热的阔叶植物栎、椴、榛、桦、杉等。草本植物主要有耐旱的蒿、藜、木本科、茄科、十字花科和喜水的香蒲、莎草等。全区呈针阔叶混交森林草原景观。湖盆内繁衍出大量喜湿热的河湖相介形虫。

中更新世晚期和晚更新世早期(240~150 ka),气候转向干旱寒冷。形成第三次寒冷期,又出现一次冰期,但不如前两期寒冷,祁连山冰川后退至较高山地,冰碛物现分布在海拔 3 400~3 950 m 之间,规模较小。酒泉盆地内中更新统冲洪积砂砾卵石呈面状沉积,上更新统冲洪积砂砾卵石在河流两岸呈带状分布。植被由于寒冷干旱不发育,酒泉地区呈现荒漠景观,中国北方的沙漠也经历了一次显著的扩张(邹光剑等,2002)。

晚更新世早期第三次寒冷期持续时间不长,进入中期第三次温暖期(150~60 ka)。伴随降雨和冰雪融化。祁连山区北大河、疏勒河等各大河流径流增加,侵蚀和剥蚀作用加强,河谷深切,出山口后在祁连山北麓前缘形成数级堆积阶地(杨春景等,1998;潘保田等,2000)。由于气候变暖植被茂盛,木本植物主要有松属、桦属和柳属;草本植物以耐旱的蒿、藜、豆科、蔷薇等为主,反映为森林草原景观。

第五次温暖期持续时间不长,进入第四次寒冷期(60~40 ka)出现第三次冰期,在区内规模较小,祁连山区已无第三期冰期的古冰川遗迹可寻。在酒泉盆地中由于寒冷干旱沙漠区有所扩展,木本植物少见,草本植物只有少量耐旱的蒿、藜和麻黄。

晚更新世晚期(40~12 ka),气候冷热频繁交替,以温暖、湿润为主。山区雪线上升,雪水增多,酒泉湖盆范围扩大,植被有了较大发展。木本植物主要有云杉、松、桑、木樨、桦、柳、榆等,草本植物有蒿、藜、麻黄、禾本科、十字花科、茄科。施雅风等人(1997a)研究认为这是 40~30 ka 间的温暖湿润气候是青藏高原夏季特强季风事件引起的,以致使现代非常干旱的柴达木盆地和北侧的巴丹吉林和腾格里沙漠地区都出现了大面积湖泊。30 000~16 000 ka 期间(末次冰期)以寒冷气候为主,河西走廊平均气温-5℃至-70℃左右,较现在低 13℃至 15℃,但降水量比现在高 100 mm±(王乃昂,2001;施雅风等,1997b),这一时期北半球欧亚大陆西侧冰流在高纬度地区发展强烈,迫使西风带向南迁移,欧亚大

陆东侧高纬度冻土南移造成冬季风强盛(Kutzbach等,1998;Dong,1996),形成酒泉地区低温且有效降水增多的冻原荒漠环境。16 000~12 000 ka 年间该区又转为湿润气候为主。

全新世早期,大约在12~10 ka B P之间由于新仙女木事件(曹兴山等,2002)气候曾一度转冷。影响和限制了酒泉地区动物群的繁衍和人类文化的发展,祁连山冰川下移,冰斗分布在4 300 m地区,冰碛物分布在4 000~4 150 m之间,该期小冰期持续时间不长。大约在10~7 ka B P之间转暖,山区冰川后退,空气也变湿润,形成全新世第一次温暖期,酒泉盆地内第四纪沉积范围达到最大。

中全新世中早期,大约在7~5 ka B P之间,该区进入全新世第一次小冰期。由于气温下降,降水减少,气候又转干旱,但本次寒冷期持续时间不长,对古地理环境影响较小。约5~4.5 ka B P之间气候由冷转暖,并成为第四纪最温暖、最湿润时期,祁连山冰雪大量融化,冰川退至4 300~4 500 m山头之上,加之大气降水量增加,酒泉盆地湖泊范围扩大至明海、莲花寺、前滩、黄泥堡等地,该时期在玉门火烧沟一带出现了人类活动。约4.5~3.4 ka B P该区转为干冷期,出现全新世的第二次小冰期,酒泉盆地沉积范围缩小,山区冰川发育,约3.4~3.2 ka B P气候又逐渐变暖,而后在约3.2~2.95 ka B P气候又逐渐变得干冷。

晚全新世据人类文字记载,气候有6次较大的波动,约2.95~2.00 ka B P气候逐渐变暖,雨水充沛;2.0~1.5 ka B P平均气温下降2.5~3.0℃,低于现今1.5~2.0℃;1.5~1 ka B P,平均气温高于现今约2~2.5℃,该时期雪水和大气降水增多,出现水草盛美的景象;1.0~0.75 ka B P该区又一次出现干冷期。平均气温低于现代1.5℃左右;0.75~0.6 ka B P气候变暖,成为暖期;约0.6~0.15 ka B P气候又一次变冷成为寒冷期,平均气温比现今低1.7~5.0℃,在这次长达0.45 ka左右的低温期内也有冷暖起伏,风、冻、水旱灾害不断发生。

3 祁连山隆升与环境演变的关系

青藏高原的隆升是一个多阶段、不等速和非均变的复杂过程(宋春晖等,2001;蔚远江等,2002),从青藏高原及其周缘大量的地貌、沉积和古生物资料所反映的特征来看,青藏高原的隆升始于距今3.6 Ma前后,该区与整个高原一样,广泛分布着新第三纪夷平面,在夷平面上还发育了含有三趾马化石的

红土层,这些现象表明,直到上新世(约3 600 ka以前),该区仍处于风化夷平阶段,地面高程大约1 330 m。此外,在青藏高原的北周缘,分布着一系列距今3 600 ka前后形成的粗砾磨拉石建造,如祁连山北麓的玉门砾岩始于3 660 ka(宋春晖等,2001)、3 500 ka(史正涛等,2001),昆仑山北麓的西域砾岩(2 920 ka;陈华慧,1994),甘肃临夏盆地的积石山砾岩(3 400 ka;宋友桂等,2001),六盘山也是在3 600 ka前后开始大规模隆升(宋春晖等,2001),以上表明祁连山是从3 600 ka前后开始抬升的。所以3 600 ka前后的构造运动是一个重大的事件,李吉均等人(1996)称之为“青藏运动A幕”,形成了其后沉积的玉门砾岩组和新第三纪疏勒河组红层的区域性平行不整合或角度不整合,2 500 ka左右高原再一次隆起称之为“青藏运动B幕”(李吉均等,1996),造成文殊山地区玉门砾岩内部的不整合和沉积速率的加快,该运动使青藏高原高原达到了2 000 m的临界高度,西伯利亚-蒙古高压大大加强引发冬季风及黄土开始沉积(孙东怀等,1997),1 800 ka前后的“青藏运动C幕”(李吉均等,1996)也是祁连山又一次强烈隆升的重要事件,黄河和长江都是在这次运动之后才从高原上奔流而下形成泱泱大川的,酒泉地区疏勒河和北大河也已发育较为成熟。经过三次“青藏运动”祁连山海拔高度从1 330 m增加到3 000 m(傅开道等,2001;李吉均等,1996;)。

大约在900 ka祁连山地区再次构造强烈隆升(宋春晖等,2001;潘保田等,1996),使玉门砾岩组地层变形和遭受剥蚀,形成近90 ka的地层缺失(曹兴山,1997a),造成其后沉积的酒泉砾岩组与玉门砾岩组之间的区域性角度不整合,ESR年代指示玉门砾岩和酒泉砾岩之间的不整合面形成于900~800 ka(史正涛等,2001),这次隆升事件在青藏高原南北均有体现,使高原周缘盆地的沉积速率剧增,昆仑山垭口盆地开始缓慢抬升和强烈走滑拉分(崔之久等,1998;称为“昆仑-黄河运动”),祁连山被抬升到海拔3 000 m左右,主峰抬升到4 000 m以上(傅开道等,2001),使青藏高原大范围进入冰冻圈(施雅风等,1995),迄今发现的高原上最大规模的古冰川不早于800 ka,如昆仑山垭口(崔之久等,1998),古里雅冰帽底部最老的冰约为760 ka(Thompson等,1997),祁连东段(邬光剑等,2001)等都是有力的证据。应当指出,近年发现的深海和黄土记录显示800 ka B P发生了第四纪最显著的气候转型,由于这次运动,青藏高原阻挡了东南亚季风北进,而逐渐

形成季风环流,从而在河西走廊盛行西北风,致使该区成为干旱寒冷多风区。

发生在 150 ka BP 的“共和运动”在祁连山及酒泉地区反应强烈,形成了戈壁砾石组与酒泉砾石组之间的不整合,祁连山区的各级水系,均记录到距今 150 ka 前后的一次强烈的构造抬升和河流深切事件,祁连山北山前早期洪积台地,均为 150 ka 水系强烈深切的产物,此后祁连山一直持续快速隆升,最终形成了现在的地形地貌景观。青藏高原在共和运动达到现今的高度,喜马拉雅山由于普遍超过 6 000 m 而成为阻塞印度洋季风的重大障碍,因而中国的西北进一步变干(李吉均等,1998)。

4 结论

青藏高原及其东北缘的祁连山隆起对酒泉盆地环境演变有着重大的影响,随着祁连山的隆升酒泉盆地第四纪以来经历了交替演化的 12 个寒冷期和 12 个温暖期,第四纪以来酒泉盆地的气候环境发生了 3 次大的转型,分别是 2 200 ka 左右的“青藏运动 B 幕”之后青藏高原达到了 2 000 m 的临界高度,西伯利亚-蒙古高压大大加强,气候总体变得干冷;900 ka 左右的“昆仑-黄河运动”之后,祁连山被抬升到海拔 3 000 m 左右,主峰抬升到 4 000 m 以上,青藏高原大范围进入冰冻圈,发生了第四纪最显著的气候转型,由于这次运动,青藏高原阻挡了东南亚季风北进,而逐渐形成季风环流,从而在河西走廊盛行西北风,致使该区成为干旱寒冷多风区;150 ka 左右的“共和运动”之后祁连山一直持续快速隆升,最终形成了现在的地形地貌景观,酒泉盆地进一步变干,环境的组合面貌发生了根本性的变化,以冷干与暖湿的气候组合为基本特征。

参考文献

- 曹兴山,赫明林,曹炳媛. 2002. 河西走廊地质记录中的新仙女木事件及其前后古地理环境演变. 甘肃地质学报, 11(1): 8~23
- 曹兴山. 1997a. 甘肃的第四系. 甘肃地质学报, 6(2): 1~51.
- 曹兴山. 1997b. 甘肃酒泉 Qy1 钻孔磁性地层划分与对比. 地层学杂志, 21(40): 259~266.
- 陈华慧 主编. 1994. 新疆第四纪地质图(1:1500000)说明书. 北京:地质出版社, 9~10.
- 崔之久,伍永秋,刘耕年. 1998. 关于“昆仑-黄河运动”. 中国科学(D 辑), 28(1): 53~59.
- 傅开道,高军平,方小敏等. 2001. 祁连山区中西段沉积物粒径和青藏高原隆升关系模型. 中国科学(D 辑), 31(增刊): 169~174.
- 李吉均,方小敏,马海洲等. 1996. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起. 中国科学(D 辑), 26(4): 316~322.
- 李吉均,方小敏. 1998. 青藏高原隆起与环境变化研究. 科学通报, 43(15): 1569~1574.

- 李朋武,崔军文,高锐等. 2001. 柴达木地块新生代古地磁新数据及其构造意义. 地球学报, 22(6): 563~568.
- 刘东生,张新时,熊尚发等. 1999. 青藏高原冰期环境与冰期全球降温. 第四纪研究, 19(5): 385~396.
- 潘保田,卢传,丁国瑜. 1996. 祁连山西段及河西盆地第四纪构造运动的阶段划分. 第四纪研究, 16(3): 236~271.
- 潘保田,郭光剑,王义祥等. 2000. 祁连山东段沙沟阶地的年代与成因. 科学通报, 45(24): 2669~2675.
- 施雅风,李吉均,李炳元等. 1999. 晚新生代青藏高原隆升与东亚环境变化. 地理学报, 54(1): 10~21.
- 施雅风,刘晓东,李炳元等. 1997a. 距今 40~30 ka 青藏高原特强季风事件及其发差周期关系. 科学通报, 44(14): 1475~1480.
- 施雅风,郑本兴,姚檀栋. 1997b. 青藏高原末次冰期最盛时的冰川与环境. 冰川冻土, 19(2): 97~113.
- 史正涛,业渝光,赵志军等. 2001. 河西走廊晚新生代地层的 ESR 年代. 中国科学(D 辑), 31(增刊): 163~168.
- 史正涛,张世强,周尚哲. 2000. 祁连山第四纪冰碛物的 ESR 测年研究. 冰川冻土, 22(4): 353~357.
- 宋春晖,方小敏,李吉均等. 2001. 青藏高原北缘河西盆地 13 Ma 以来沉积演化与构造隆升. 中国科学(D 辑), 31(增刊): 155~162.
- 宋友桂,方小敏,李吉均等. 2001. 晚新生代六盘山隆升过程初探. 中国科学(D 辑), 31(增刊): 142~148.
- 孙东怀,刘东生,陈明扬等. 1997. 中国黄土高原红粘土序列的磁性地层年代与气候记录. 中国科学(D 辑), 27(3): 265~270.
- 王乃昂,王涛,史正涛等. 2001. 西走廊末次冰期砂楔的发现及其古气候意义. 冰川冻土, 23(1): 46~50.
- 蔚远江,杨晓萍,雷振宇等. 2002. 羌塘盆地查郎拉地区中新世古气候演化初探. 地球学报, 23(1): 55~62.
- 郭光剑,潘保田,管清玉等. 2002. 中更新世全球最大冰期与中国沙漠扩张. 冰川冻土, 24(5): 544~549.
- 郭光剑,潘保田,李吉均等. 2001. 祁连山东段 0.83 Ma 以来的构造-气候事件. 中国科学(D 辑), 31(增刊): 202~208.
- 吴宏岐,党安荣. 1998. 隋唐时期气候冷暖特征与气候波动. 第四纪研究, 18(1): 31~38.
- 杨春景,谭利华,李有利等. 1998. 祁连山北麓河流阶地与新构造演化. 第四纪研究, 18(3): 229~237.
- 尹安. 2001. 喜马拉雅-青藏高原造山带地质演化——显生宙亚洲大陆生长. 地球学报, 22(3): 193~230.
- 周尚哲,李吉均,张世强. 2001. 祁连山摆浪河谷地的冰川地貌与冰期. 冰川冻土, 23(3): 131~138.
- 竺可桢. 1972. 中国近五千年来气候变迁的初步研究. 考古学报, 20(1): 15~38.

References

- Cao Xingshan, He Minlin, Cao Bingyuan. 2002. Geohistoric younger dryas event and paleogeographic environment evolution around it in Hexi corridor. Acta Geologica Gansu, 11(1): 8~23 (in Chinese with English abstract).
- Cao Xingshan. 1997. Quaternary of Gansu. Acta Geological Gansu, 6(2): 1~51 (in Chinese with English abstract).
- Cao Xingshan. 1997. The magnetostratigraphy of the Qy1 drill hole of Jiuquan, Gansu. Journal of Stratigraphy, 21(40): 259~266 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Huahui editor. 1994. Introduction of Quaternary geological mapping(1:1500000) in Xinjiang province. Beijing: Geological Pub-

- lishing House, 9~10(in Chinese).
- Coleman M, Hodgs K. 1995. Evidence for Tibetan Plateau uplift before 14 Ma ago from a new minimum age for east-west extension. *Nature*, 374:49~52.
- Cui Zhihui, Wu Yongqiu, Liu Gengnian. 1998. About Kunlun-Huanghe tectonic movement. *Science in China(Series D)*, 28 (1):53~59 (in Chinese with English abstract).
- Dong B W, Valdes P, Hall N M J. 1996. The change of monsoonal climates due to Earth's orbital perturbations and ice age boundary conditions. *Paleoclimates*, (1):204~240.
- Fu Kaidao, Gao Junping, Fang Xiaoming et al. 2001. The related model of sediment grain diameter and uplift of Tibetan Plateau. *Science in China(Series D)*, 31 (Sup.):169~174 (in Chinese with English abstract).
- Kutzbach J E, Gallimore R, Harrison S P et al. 1998. Climate and biome simulation for the past 21 000 years. *Quaternary Science Reviews*, 17:473~506
- Li J J. 1991. The environmental effects of the uplift of Qinghai-Xizang Plateau. *Quaternary Science Review*, 10(6): 479~483.
- Li Jijun, Fang Xiaoming, Ma Haizhou et al. 1996. Physiognomy evolution in upper basin of Huanghe river and Tibetan Plateau uplift. *Science in China(Series D)*, 26(4):316~322(in Chinese with English abstract).
- Li Jijun, Fang Xiaoming. 1998. The research of Uplift of the Qinghai-Xizang(Tibetan) Plateau and environmental change. *Chinese science Bulletin*, 43(15): 1569~1574(in Chinese with English abstract).
- Li Pengwu, Cui Junwen, Gao Rui et al. 2001. New Cenozoic Paleomagnetic Data from Qaidam Massif and Their Tectonic Implications. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(6):563~568(in Chinese with English abstract).
- Liu Dongsheng, Zhang Xinshi, Xiong Shangfa et al. 1999. Qinghai-Xizang Plateau glacial environment and global cooling. *Quaternary Science*, 19(5):385~396(in Chinese with English abstract).
- Molnar P, England P, Martinod J. 1993. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan Plateau and India Monsoon. *Develop Rev Geophys*, 34:357~396.
- Pan Baotian, Lu Yan, Ding Guoyu. 1996. The phases division of Quaternary tectonic movement in the western segment of Qilian mountains and Jiuxi basin. *Quaternary Science*, 16 (3):236~271 (in Chinese with English abstract).
- Pan Baotian, Wu Guangjian, Wang Yixiang et al. 2000. The dating and genesis of Sagou terraces in the eastern segment of Qilian mountains. *Chinese science Bulletin*, 45(24): 2669~2675(in Chinese).
- Ruddiman W F, Kutzbach J E. 1989. Forcing of Late Cenozoic Northern hemisphere climate by plateau uplift in southern Asia and American West. *Journal of Geophysical Research*, 94:18409~18427
- Shi Yafeng, Zhen Benxing, Yao Tandong. 1997. Glaciers and environment during the last glacial maximum on the Tibetan Plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 19(2): 97~113 (in Chinese with English abstract).
- Shi Yafeng, Li Jijun, Li Bingyuan et al. 1999. Uplift of the Qinghai-Xizang(Tibetan) Plateau and east Asia environmental change during late Cenozoic. *Acta Geographical Sinica*, 54(1):10~21(in Chinese with English abstract).
- Shi Yafeng, Liu Xiaodong, Li Bingyuan et al. 1997. Strength summer monsoon on the Qinghai Tibetan Plateau and its correlation with the earth precession between 40~30 ka B P. *Chinese Science Bulletin*, 4(14):1475~1480 (in Chinese).
- Shi Zhengtao, Ye Yuguang, Zhao Zhijun et al. 2001. The ESR dating of Cenozoic stratum in the Jiuxi basin. *Science in China (Series D)*, (Sup.): 163~168(in Chinese).
- Shi Zhengtao, Zhang Shiqiang, Zhou Shangzhe. 2000. Study of ESR dating of quaternary moraine, Qilian mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 22(4):353~357(in Chinese with English abstract).
- Song Chunhui, Fang Xiaoming, Li Jijun et al. 2001. Sediment evolution and tectonic uplift since 13 Ma in Jiuxi basin at the North margin of the Tibetan Plateau. *Science in China(Series D)*, 31 (Sup.):155~162(in Chinese with English abstract).
- Song Yougui, Fang Xiaoming, Li Jijun et al. 2001. The preliminary discuss of the uplift process at Lupan mountains in late Cenozoic. *Science in China (Series D)*, 31 (Sup.): 142~148(in Chinese with English abstract).
- Sun Donghui, Liu Dongsheng, Cheng Minyang et al. 1997. The magnetostratigraphy dating and climate record of red clay sequence at Loess Plateau, China. *Science in China(Series D)*, 27(3):265~270(in Chinese with English abstract).
- Thompson L. G, Yao T D, Davis M E et al. 1997. Tropical climate cycle from a Qinghai-Tibetan ice core. *Science*, 276:1821~1825.
- Wang Naiang, Wang Tao, Shi Zhangtao et al. 2001. The discovery of sand wedges on the last glaciation in the Hexi corridor and its paleoclimatic significance. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 23 (1):46~50 (in Chinese with English abstract).
- Wei Yuanjiang, Yang Xiaoping, Lai Zhenyu et al. 2002. A Preliminary Study of the Mesozoic-Cenozoic Palaeoclimate Evolution in Chalangla Areas, Qiangtang Basin, Northern Tibet. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(1):55~62.
- Wu Guangjian, Pan Baotian, Guan Qingyu et al. 2002. The maximum glaciation and desert expansion in China during MIS16. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 24(5): 544~549 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guangjian, Pan Baotian, Li Jijun et al. 2001. Affairs of tectonic and climate since 0.83 Ma in the eastern segment of Qilian mountains. *Science in China (Series D)*, 31 (Sup.):202~208(in Chinese with English abstract).
- Wu Hongqi, Dang Anrong. 1998. Fluctuation and characteristics of climate change in temperature of Sui-Tang times in China. *Quaternary sciences*, 18(1):31~38(in Chinese with English abstract).
- Yang Chunjing, Tan Lihua, Li Youli et al. 1998. The river terraces and new-tectonic evolution in the north foot of Qilian mountains. *Quaternary Science*, 18(3):229~237(in Chinese with English abstract).
- Yin An. 2001. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen in the context of Phanerozoic continental growth of Asia. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(3):193~230(in Chinese with English abstract).
- Zhou Shangzhe, Li Jijun, Zhang Shiqiang et al. 2001. Glacial geomorphology and ice ages in the Bailang river basin, Qilian mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 23(3):131~138 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Kezhen. 1972. Pilot study on climate change during last 5 000 years in China. *Acta Archaeologica Sinica*, 20(1):15~38(in Chinese with English abstract).