

黄土高原0.8 Ma以来地面抬升的时空特征研究

胡春生^{1,2}, 潘保田³, 苏 怀⁴

(1. 安徽师范大学地理系, 安徽 芜湖 241000; 2. 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室, 安徽 芜湖 241000;
3. 兰州大学地理系, 甘肃 兰州 730000; 4. 云南师范大学地理系, 云南 昆明 650000)

摘要: 根据黄土高原地区黄河阶地的形态特征和成因分析, 认为其形成主要是地面抬升所致并且在黄河达到均衡状态下形成, 可以推断黄土高原的地面抬升。根据对黄土高原地区黄河0.8 Ma阶地的研究并结合相关文献资料, 选取兰州段、黑山峡段、晋陕峡谷段和三门峡段作为典型研究区域, 得出黄土高原0.8 Ma以来的地面抬升存在显著的时空特征, 即空间特征表现为地面抬升量有西大东小的规律, 时间特征表现为地面抬升速率有后期加速趋势, 特别是晚更新世以来。并认为黄土高原0.8 Ma以来的地面抬升与青藏高原的构造抬升有成因上的联系。

关键词: 黄土高原; 河流阶地; 0.8 Ma; 地面抬升; 时空特征

中图分类号: P931 **文章标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)09-1131-05

黄土高原位于青藏高原东北侧, 第四纪以来伴随着青藏高原的抬升也发生一系列的抬升事件。对此一些学者进行了相关研究, 并认为黄土高原第四纪以来经过多次阶段性的抬升, 并且其抬升主要发生于第四纪中晚期^[1-4]。但是由于当时实验条件和技术限制, 这些研究其定性描述多于定量分析, 并且在年代上缺乏绝对年龄支撑, 同时对黄土高原中更新世0.8 Ma以来地面抬升的研究也不够深入, 因此本文拟运用古地磁测年方法, 并结合相关文献资料, 以0.8 Ma作为时间节点, 来研究黄土高原0.8 Ma以来的地面抬升。

1 区域概况

黄土高原范围大致为太行山以西, 乌鞘岭以东, 秦岭以北, 长城以南; 南部为渭河断陷盆地; 东部为吕梁山、太行山以及汾河断陷盆地; 西部为祁连山褶皱带的南端。黄河中游部分主要流经黄土高原, 其干、支流系统基本构成了黄土高原的水系格局, 主要支流有渭河、泾河、洛河和汾河等(图1)。

2 研究方法

2.1 指标选取

地貌证据直接地记录地面高度的变化, 例如

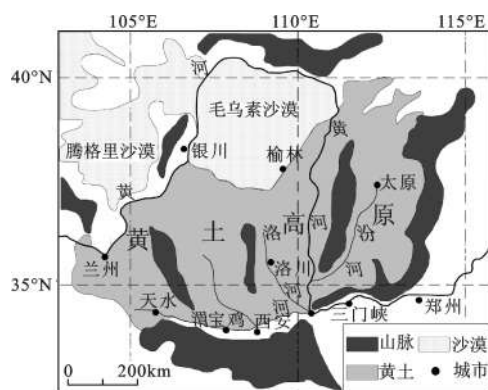


图1 黄土高原和黄河中游

Fig.1 Loess Plateau and the middle reaches of Yellow River

阶地、夷平面等能定量地反映地面抬升状况^[5]。祁连山东段沙沟河阶地^[6]、兰州盆地黄河阶地^[7], 以及英国泰晤士河阶地^[8,9]、日本东北部阶地^[10]和新西兰北岛阶地^[11]的相关研究, 有力地证明了阶地反映地面抬升的可靠性。因此运用河流阶地的形成来推断黄土高原的地面抬升是公认的通用方法。

2.2 估算方法

地面抬升引起河流下切是非常普遍的现象, 特别是靠近具有显著断层活动和地面抬升的板块边缘区^[12]。泰晤士河阶地的研究发现, 河流下切速率(阶地拔河/阶地年龄)可以近似地反映地面抬升

收稿日期: 2011-12-12; 修订日期: 2012-05-10

基金项目: 安徽省自然地理学重点学科科研团队项目(asdgl0903)、国家自然科学基金(40471016)资助。

作者简介: 胡春生(1979-), 男, 安徽无为, 讲师, 主要研究方向为资源与环境。E-mail: huchsh03@163.com

速率^[8,13],并且当河流达到均衡状态时,其下切速率和地面抬升速率相等^[14]。因此,当河流基本达到均衡状态时,可以用河流下切速率来近似地反映地面抬升速率,同时用河流下切深度(阶地拔河)来近似反映地面抬升量。

黄河中游地区河流阶地砾石层一般都分选性很好,砾石磨圆度高且作叠瓦状排列,其ab面倾向上游,河流冲积物完全是下为河床相砾石和上为河漫滩相砂层的双层结构,并且其厚度都基本在河流均衡冲积物的正常厚度范围之内^[15],是黄河处于均衡状态下形成的^[16],可以运用上述估算方法推断黄土高原的地面抬升特征。

3 数据获取

3.1 野外采样

河流阶地的采样点位于兰州盆地的枣树沟阶地和五一山阶地,这两级阶地为典型的基座型阶地。枣树沟阶地拔河80 m,砾石层厚约4 m,河漫滩相粉砂层厚约6.5 m,其上是约64 m厚的风成黄土堆积,野外鉴定出风成黄土部分含有八层古土壤,拟定为古土壤序列S1~S8,且最底部发育了古土壤S8。五一山阶地拔河140 m,砾石层厚约5 m,河漫滩相粉砂层厚约10.5 m,其上是约100 m厚的风成黄土堆积,野外鉴定出风成黄土部分含有九层古土壤,拟定为古土壤序列Sm~S8,且底部发育了古土壤S8。

野外主要进行了三类实验样品的野外采集,即黄土粒度样品、光释光年代样品和古地磁年代样品。黄土粒度样品只采自枣树沟阶地剖面,等间距密集采样,共采得粒度样品300个。光释光(OSL)年代样品采自枣树沟阶地剖面59 m处。古地磁年代样品分别采自枣树沟阶地剖面 and 五一山阶地剖面,分别采得古地磁年代样品58块和61块。

3.2 实验分析

粒度样品经过前处理后,在兰州大学西部环境教育部重点实验室Mastersizer 2000激光粒度仪上测量。得出结果基本与野外鉴定的黄土古土壤一致(图2)。

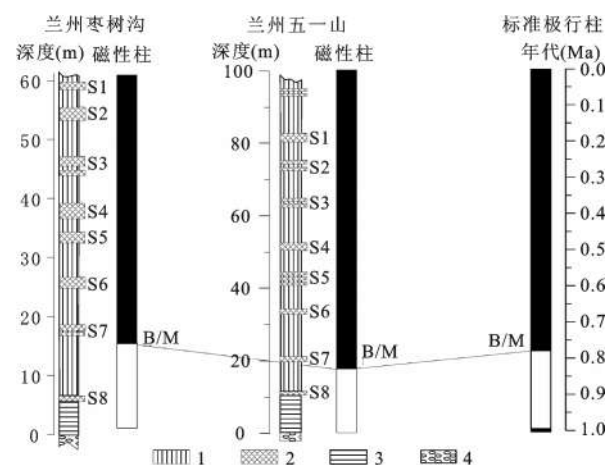
光释光年代样品在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所释光测年分析室完成年龄测定工作。测年结果为 70.4 ± 7.6 ka,与野外鉴定的古土壤S1层位吻合。

古地磁年代样品经过前处理后,其中枣树沟

阶地剖面古地磁样品的测量在中国科学院地质与地球物理研究所2G-755超导磁力仪上完成,五一山阶地剖面古地磁样品的测量在兰州大学西部环境教育部重点实验室的2G-760R超导磁力仪上完成。通过对枣树沟阶地剖面和五一山阶地剖面的古地磁测年(图2),并结合剖面古土壤的轨道调谐年龄^[17],得出这两级阶地是属于同一级黄河阶地并且其年代为0.865 Ma。

3.3 数据整合

黄河中游主要流经黄土高原,其干支流系统构成了黄土高原的水系格局。通过野外考察、采样和实验室分析,并结合他人研究成果,发现在黄土高原地区的兰州、黑山峡、吴堡、禹门口、韩城、三门峡等地存在众多0.80 Ma以来的阶地资料^[1,7,18-22](表1、2)。



1. 黄土; 2. 古土壤; 3. 河漫滩粉砂; 4. 砾石层

图2 枣树沟阶地和五一山阶地黄土剖面及古地磁测年结果

Fig.2 The loess sections and the measure results of paleomagnetism of Zaoshugou section and Wuyishan section

表1 黄土高原地区黄河0.8 Ma阶地统计表

Table 1 The terraces of Huanghe River at 0.8 Ma in Loess Plateau

地点	阶地序	拔河高度 (m)	年代 (Ma)	定年方法	数据来源
兰州	T4	80~140	0.865	古地磁	自测
黑山峡	T9	140	0.742	钙膜	[18]
河曲	T3	100	0.787	古地磁	[19]
吴堡	T5	130	0.787	古土壤	
吴堡	T5	109	0.85		
禹门口	T5	127	0.85	古土壤	[1]
韩城	T5	74	0.85		
三门峡	T4	70	0.865	古地磁	[20]
三门峡	T4	50	0.86	古地磁	[21]

表2 黄土高原4个地区0.8 Ma以来黄河阶地发育序列

Table 2 The sequences of Huanghe River terraces at four sites in Loess Plateau since 0.8 Ma					
地点	阶地序	拔河(m)	年代(Ma)	定年方法	数据来源
兰州段	T4	140	0.865	古地磁	自测
	T3	70	0.141	TL	
	T2	25	0.05	¹⁴ C	[7]
	T1	10	0.01	¹⁴ C	
黑山峡段	T9	140	0.742	钙膜	
	T8	120	0.495	钙膜	
	T7	95	0.36	钙膜	
	T6	85	0.285	钙膜	[18]
	T5	80	0.215	钙膜	
	T4	73	0.139	钙膜	
	T3	55	0.094	钙膜	
	T2	30	0.018	钙膜	
	T1	13	0.005	¹⁴ C	[22]
晋陕峡谷段	T3	100	0.787	古地磁	
	T2	60	0.336	古土壤	
	T1	10	0.06	TL	
	T5	130	0.787	古地磁	[19]
	T4	110	0.412	古土壤	
	T3	70	0.245	古土壤	
	T2	30	0.129	古土壤	
三门峡段	T4	70	0.865	古地磁	[20]
	T3	30	0.625	古地磁	[19]
	T2	12	0.129	TL	
	T1	5	0.06	TL	[21]

4 数据分析

本文选取黄土高原地区的兰州段、黑山峡段、

晋陕峡谷段、三门峡段等4个典型研究区域,分析黄土高原0.80 Ma以来的地面抬升的时空特征。

4.1 空间特征分析

根据上述运用河流阶地拔河高度近似估算地面抬升量的方法,得出黄土高原地区兰州段、黑山峡段、晋陕峡谷段、三门峡段等4个区域0.8 Ma以来的地面抬升量(表3)。

表3 黄土高原4个地区0.8 Ma以来的地面抬升量(m)

Table 3 The amounts of surface uplift at four sites in Loess Plateau since 0.8 Ma (m)					
地点	兰州段	黑山峡段	晋陕峡谷段		三门峡段
			河曲—吴堡	吴堡—韩城	
抬升量	80~140	140	100~130	74~127	50~70

根据表3可知,黄土高原0.8 Ma以来地面抬升量存在显著的空间差异。位于黄土高原西部并邻近青藏高原的兰州和黑山峡地区地面抬升量较大,可达到140 m左右,而黄土高原东部并远离青藏高原的晋陕峡谷和三门峡地区地面抬升量多为100 m以内。可见,黄土高原0.8 Ma以来地面抬升量的空间特征,主要表现为西大东小的特征。

4.2 时间特征分析

根据上述运用河流下切速率近似估算地面抬升速率的方法,得出黄土高原地区兰州段、黑山峡段、晋陕峡谷段、三门峡段0.8 Ma以来的地面抬升速率(图3)。

根据图3可知,黄土高原0.8 Ma以来各个不同阶段地面抬升速率也存在显著的时间差异。时间特征主要包括以下两个特点:① 黄土高原0.8 Ma以来的地面抬升有后期加速的趋势,特别是晚更新世以来;② 黄土高原0.8 Ma以来其西部的地面

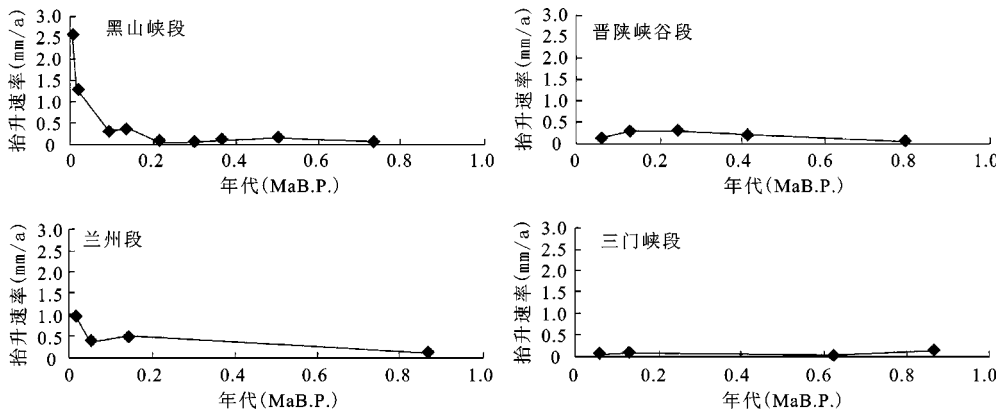


图3 黄土高原4个地区0.8 Ma以来的地面抬升速率

Fig.3 The rates of surface uplift at four sites in Loess Plateau since 0.8 Ma

抬升速率基本上大于其东部的地面抬升速率,其中基本以黑山峡地区为最大、三门峡地区为最小。雷祥义等计算出 1954~1978 年宝鸡—陇县—海原一带地壳平均以 1~2 mm/a 速度上升^[23],基本验证本文所估算的黄土高原西部地区的地面抬升速率。

4.3 原因分析

至于黄土高原 0.8 Ma 以来发生地面抬升的原因,本文认为其与青藏高原 0.8 Ma 以来的构造抬升(昆仑—黄河运动)^[24]有成因上的联系,越接近青藏高原抬升量和抬升速率越大、越远离青藏高原抬升量和抬升速率越小。而且青藏高原地面抬升存在后期加速的趋势^[25-27],可能导致黄土高原也存在后期加速的趋势。同时由于黄河 1.2 Ma 前后东流入海的格局基本奠定^[15,20],其后黄河泥沙的大量输出(现在黄河每年输送泥沙约 $16 \times 10^8 \text{ t}$),也可能会引起黄土高原发生局部均衡抬升,特别是晋陕峡谷段。

5 结 论

1) 通过对黄土高原黄河阶地的研究,发现黄土高原地区存在大量的黄河 0.8 Ma 阶地,说明黄土高原在 0.8 Ma 前后发生过一次普遍的河流下切事件,并由此证实了黄土高原在 0.8 Ma 前后发生过一次大范围的地面抬升。

2) 通过对黄河兰州段、黑山峡段、晋陕峡谷段和三门峡段等四个典型区域 0.8 Ma 以来黄河阶地的综合研究,得出黄土高原 0.8 Ma 以来地面抬升量存在西大东小的空间特征,抬升速率存在西大东小和后期加速的时间特征。

3) 黄土高原 0.8 Ma 以来发生地面抬升的原因,本文认为其与青藏高原 0.8 Ma 以来的构造抬升有成因上的联系,同时局部均衡抬升也是原因之一。

参考文献:

- [1] 朱照宇,丁仲礼.中国黄土高原第四纪古气候与新构造演化[M].北京:地质出版社,1994.
- [2] 赵景波.黄土高原发展过程中的五大转折[J].水土保持学报,2002,16(1):132~135.
- [3] 李荣全,邱维理,张亚力,等.对黄土高原的新认识[J].北京师范大学学报(自然科学版),2005,41(4):431~436.
- [4] 杨 东,方小敏,彭子成,等.陇西六盘山黄土及最近 1.8 Ma B.P. 以来的构造运动与气候变化[J].地理科学,2006,26(2):192~198.
- [5] 潘保田,李吉均,李炳元.青藏高原地面抬升证据讨论[J].兰州大学学报(自然科学版),2000,36(3):100~111.
- [6] 潘保田,郭光剑,王义祥,等.祁连山东段沙沟河阶地的年代与成因[J].科学通报,2000,45(24):2669~2675.
- [7] Li Jijun, Zhang Bao, Zhu Junjie, et al. Magneto- and pedo-stratigraphy of paleosol-loess sequences in the Lanzhou Basin: evidence for evolution of Huang He[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44 (supplement): 119-128.
- [8] Maddy D. Uplift-driven valley incision and river terrace formation in southern England[J]. Journal of Quaternary Science, 1997, 12(6): 539-545.
- [9] Bridgland D, Schreve D C. Implication of new Quaternary uplift models for correlation between the Middle and Upper Thames terraces sequences, UK[J]. Global and Planetary Change, 2009, 68 (4): 346-356.
- [10] Tabito Matsu'ura, Akira Furusawa, Hidetaka Saomoto. Late Quaternary uplift rate of the northeastern Japan arc inferred from fluvial terraces[J]. Geomorphology, 2008, 95(3-4): 384-397.
- [11] Claessens L, Veldkamp A, Broeke E M, et al. A Quaternary uplift record for the Auckland region, North Island, New Zealand, based on marine and fluvial terraces[J]. Global and Planetary change, 2009, 68(4): 383-394.
- [12] Arger J, Mitchell J, Westaway R. Neogene and quaternary volcanism of south-eastern Turkey[C]// Bozkurt E, Winchester J A, Piper J D A (Eds.). Tectonics and Magmatism of Turkey and the Surrounding Area. London: Geological Society of London Special Publication, 2000: 173, 459-487.
- [13] Maddy D, Bridgland D R, Westaway R. Uplift-driven valley incision and climate-controlled river terrace development in the Thames Valley, UK[J]. Quaternary International, 2001, 79(1): 23-36.
- [14] Burbank D W. Rates of erosion and their implications for exhumation[J]. Mineralogical Magazine, 2002, 66(1): 25-52.
- [15] 潘保田. 黄河发育与青藏高原隆升问题[D]. 兰州: 兰州大学, 1991.
- [16] 沈玉昌, 龚国元. 河流地貌学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [17] Ding Z L, Derbyshire E, Yang S L, et al. Stacked 2.6 Ma grain size record from the Chinese loess based on five sections and correlation with the deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ record[J]. Paleoceanography, 2002, 17(3): 501-521.
- [18] 邢成起, 尹功明, 丁国瑜, 等. 黄河黑山峡阶地的砾石 Ca 膜厚度与粗碎屑沉积地貌面形成年代的确定[J]. 科学通报, 2002, 47 (3): 167~172.
- [19] 王均平. 黄河中游晚新生代地貌演化与黄河发育[D]. 兰州: 兰州大学博士论文, 2006.
- [20] 潘保田, 王均平, 高红山, 等. 河南扣马黄河最高阶地古地磁年代及其对黄河贯通时代的指示[J]. 科学通报, 2005, 50(3): 255~261.
- [21] 苏 怀, 王均平, 潘保田, 等. 黄河三门峡至扣马段的阶地序列及成因[J]. 地理学报, 2009, 63(7): 745~750.
- [22] 韩文峰. 黄河黑山峡大柳树松动岩体工程地质研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993.
- [23] 雷祥义. 黄土高原地质灾害与人类活动[M]. 北京: 地质出版社, 2001.

- [24] 崔之久, 伍永秋, 刘耕年. 昆仑—黄河运动的发现及其性质[J]. 科学通报, 1997, **42**(18): 1986~1989.
- [25] 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升[J]. 中国科学(D)辑, 1996, **26**(4): 316~322.
- [26] 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.
- [27] 潘保田, 高红山, 李炳元, 等. 青藏高原层状地貌与高原抬升[J]. 第四纪研究, 2004, **24**(1): 50~58.

The Spatial and Temporal Features of Surface Uplift in Loess Plateau Since 0.8 Ma

HU Chun-sheng^{1,2}, PAN Bao-tian³, SU Huai⁴

(1. Department of Geography, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China; 2. Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Preventing and Controlling, Wuhu, Anhui 241000, China; 3. Department of Geography, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China; 4. Department of Geography, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650000, China)

Abstract: The river terrace is one of the direct geomorphic evidences of the surface uplift. By analyzing the characteristics of the Yellow River terraces in Loess Plateau, it is presented that the terraces are mainly tectonic genesis, and formed after the Yellow River reached a quasi-equilibrium state. It is reasonable to use the Yellow River terraces for representing the surface uplift of the Loess Plateau. In the Lanzhou Basin, two fourth terraces of the Yellow River are selected as the study sections, namely the Zaoshugou terrace and the Wuyishan terrace. At the Zaoshugou terrace, the altitude of gravel stratum is 80 m higher than the river level. The top of the gravel stratum is overlain by at least 64 m eolian loess, and the paleosol S_8 is at the bottom of the eolian loess. At the Wuyishan terrace, the altitude of gravel stratum is 140 m higher than the river level. The top of the gravel stratum is overlain by at least 100 m eolian loess, and the paleosol S_8 is at the bottom of the eolian loess. The optically stimulated luminescence (OSL) dating result indicates that the age of the upper part of paleosol S_1 at the Zaoshugou terrace is 70.4 ± 7.6 ka. The results of paleomagnetic dating, optically stimulated luminescence dating and loess-paleosol sequence matching indicate that the two terraces have the same age, and both were formed at about 0.865Ma. Therefore this paper advances that there is the Yellow River terraces at 0.8Ma in the Lanzhou Basin, and the fourth terrace of the Yellow River may be a geomorphic response to the event of the surface uplift at 0.8Ma around the Qinghai-Tibetan Plateau. According to the research on the Yellow River terraces at 0.8Ma in the Loess Plateau and the correlative literature, this paper verifies that there was a large-scale surface uplift at about 0.8Ma in the Loess Plateau, and the surface uplift resulted in river incision and terrace formation. Lanzhou, Heishan Canyon, Shanxi-Shaanxi Canyon and Sanmenxia were also selected as the typical research areas in the Loess Plateau, and obvious spatial and temporal features of the surface uplift of the Loess Plateau since 0.8Ma was discovered, basing on the characteristic analysis of the sequences of the Yellow River terraces at this four sites. The rates of surface uplift are calculated by the rates of river incision and the amounts of surface uplift are calculated by the depth of river incision (height above river). The spatial feature is that the surface uplift of the western Loess Plateau is more intense than that of the eastern Loess Plateau, and the temporal feature is that the uplift speeds up gradually, especially since the late Pleistocene. This paper also proposes that the surface uplift of the Loess Plateau since 0.8 Ma is related to the surface uplift of the Qinghai-Xizang Plateau.

Key words: Loess Plateau; river terrace; 0.8 Ma; surface uplift; spatial and temporal features