

祁连山东段金塔河流域层状地貌时代与成因探讨

高红山¹, 潘保田¹, 李吉均¹, 邬光剑², 李炳元³, 业渝光⁴

(1. 兰州大学西部环境教育部重点实验室和地理科学系, 甘肃 兰州 73000; 2. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 国土资源部青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

摘 要: 祁连山东段金塔河流域分布着两级夷平面(山顶面与主夷平面)、一级剥蚀面和多级河流阶地, 它们是晚新生代青藏高原阶段性隆升的产物。通过电子自旋共振(Electron spin resonance, 简称为 ESR)、热释光(Luminescence, 简称为 TL)、红外释光(Infrared stimulated luminescence, 简称为 IRSL)和¹⁴C 等绝对测年手段并结合区域对比的研究表明, 该区山顶面形成于老第三纪, 主夷平面形成于中新世至上新世, 剥蚀面解体于 1.4 Ma B. P. 左右。其后金塔河流域发育 5~ 6 级阶地, 形成时代大致为 1.24 Ma B. P.、0.78 Ma B. P.、0.14 Ma B. P.、0.06 Ma B. P.、0.03 Ma B. P. 和 0.01 Ma B. P.。结合河流阶地的形成年代、发育特征以及邻区阶地的发育模式研究表明, 它们应是构造隆升以及气候变化双重作用下的产物。

关键词: 形成时代; 剥蚀面; 河流阶地; 金塔河; 祁连山东段

中图分类号: P931.2

文献标识码: A

祁连山位于青藏高原的东北边缘, 是亚洲中部雄伟高大的山系之一, 地势高峻, 平均海拔 4 000~ 5 000 m, 北缘以 2 000~ 3 000 m 的巨大高差过渡到河西走廊, 南侧柴达木盆地低于祁连山 1 000~ 2 000 m。其宏观地貌最大特点是在巨大的山体基座上绵延着一系列北西至北西西向近乎平行的山脉, 山脉之间则是宽大的谷地或盆地。该区地貌类型多样、结构复杂, 早期受测年技术的限制, 虽有所研究但未能给出各级地貌面形成确切的时间序列^[1, 2]。近期对于祁连山北麓河流阶地的研究有所进展, 但结果存在着较大的分歧。多数学者认为该区河流阶地是中更新世乃至晚更新世以来构造隆升的产物^[3- 5]。祁连山东段沙沟河流域五级阶地的形成时代显然超过这一范围, 而且气候变化在其成因中起着重要的作用^[6]。鉴于层状地貌面在研究青藏高原隆升中的重要地位^[7], 对金塔河流域内主要层状地貌面进行了详细的年代学研究, 并对其成

因进行了探讨。

1 区域地貌格局

金塔河为河西走廊内陆三大水系石羊河的一条主要支流, 面积 900 km², 源头位于冷龙岭北坡, 海拔最高达 4 847 m, 发育着现代冰川。根据野外调查和计算机数字高程模型(DEM)分析, 金塔河流域内分布着多级层状地貌面, 其中包括两级夷平面(山顶面与主夷平面)、一级剥蚀面以及多级河流阶地(图 1)。山顶面主要分布在流域的源头, 表现为连续的高山峰顶面, 部分呈平顶冰川。由于经历了长期的构造运动与剥蚀作用, 侵蚀切割十分强烈, 原始的地形面受到极大的破坏, 从东向西海拔从 3 800 m 上升到 4 800 m 以上。因其海拔较高, 耸入冰缘带范围, 地面受冻土作用及排水不良而呈沼泽化现象。主夷平面主要分布在山顶面的外围, 构成现代

收稿日期(Received date): 2004- 09- 11; 改回日期(Accepted): 2004- 12- 21。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(40171010); 教育部博士点基金项目(20030730017)以及教育部青年教师奖励基金联合资助。[The National Science Foundation of China (No. 40171010); the Doctoral Foundation of Ministry of Education, China (No. 20030730017) and the Key Project of Ministry of Education and the Teaching and Research Award Program for outstanding Young Teachers in Higher Education Institutions of Education].

作者简介(Biography): 高红山(1977-), 男, 汉族, 山东人, 博士生, 主要从事地貌演化与第四纪环境研究。[Gao Hongshan (1977-), male, Shandong Province of P. R. China, Doctor student, works mainly on landform evolution and Quaternary environments. E-mail: pangroup@lzu.edu.cn]

水系的分水岭。分布高度基本稳定在 3 000~ 3 300 m 左右,反映出山地后期的构造运动主要以整体抬升为主,差异运动不大,多数地区尚保存着古风化壳。根据高原内部及邻区夷平面的研究,山顶面形成时代为渐新世至中新世早期,主夷平面大约形成于 20~ 3.6 Ma B. P. 间^[7]。剥蚀面主要分布在现代河谷的最上部,以 200~ 400 m 高差的陡坎与分布于其上的主夷平面过渡,海拔在 2 200~ 2 700 m 之间。从形态特征上看,该级地貌面主要表现为河

流宽谷。它缓缓地向北倾斜,其间发育着若干平行的顺向河。由于它在两个相邻的较大流域之间缺乏联系,因此,它不是一个侵蚀旋回的终极地形,而是一级剥蚀面。除局部区域削平了中生代或更老地层之外,剥蚀面切割最新的地层是第三纪疏勒河组的红色砂岩。剥蚀面的地表组成物质主要为第三纪红层及黄土,因处于植被稀疏的山地草原带下部,流水侵蚀较强,地面沟谷网很密,常被分割成长梁。河流切入剥蚀面约 200~ 400 m,形成了多级河流阶地。

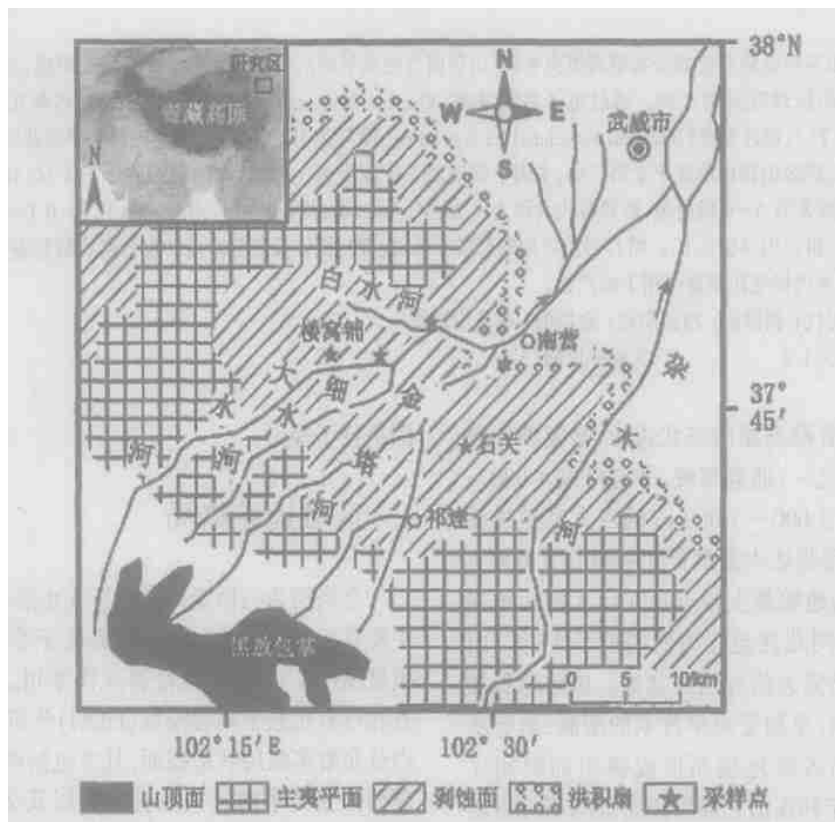


图 1 研究区位置及采样地点分布图

Fig. 1 Location of studied region and the sampling sites

2 测年方法和手段

虽然适用于第四纪测年的方法很多,但每种方法都因测年所用的物质、被测事件的性质和给出年代的方式而有一定的局限性^[8]。在具体研究过程中,由于缺乏的合适测年材料以及测年技术的限制,常常难于取得较可靠的年代数据。过去对于该区河流阶地的研究,多数学者所采用的方法一般为 TL

技术^[3-5]。我们曾对沙沟河 T₄ 上覆黄土的底部用 TL 测年,结果为 262 ± 19 ka B. P.、247 ± 18 ka B. P.,这与 T₃ 之上黄土底部的 TL 年代 225 ± 17 ka B. P. 相接近。但是通过气候地层学研究^[9],T₄ 的形成年代在 0.42 Ma B. P. 前后,说明目前 TL 技术难以满足更老物质的测年要求。鉴于近年 ESR 技术在各类沉积物测年的成功应用^[10],此次我们主要采用 ESR 技术,同时结合 TL、IRSL、¹⁴C 等方法(表 1, 2)对该区层状地貌面进行研究。

表 1 样品测试的相关参数及 ESR 年龄
Table 1 Results and correlate parameters of ESR dating

实验 室号	U ($\mu\text{g/g}$)	Th ($\mu\text{g/g}$)	K_2O (%)	含水量 (%)	年剂量率 (Gy/ka)	等效剂量 (Gy)	ESR 年龄 (ka)	备 注
Pan- 2001*	2. 62	10. 1	1. 82	0. 86	3. 096	4 110. 8	1 328 \pm 204	石关北山
Pan- 2002*	2. 6	10. 2	1. 92	0. 87	3. 187	4 339. 7	1 362 \pm 204	石关北山
Pan- 2004*	2. 03	15. 5	2. 37	3. 11	3. 765	2 956. 8	785 \pm 118	南营村 T ₄
Pan- 2006*	2. 21	9. 9	2. 93	4. 83	3. 800	4 739. 9	1 247 \pm 187	南营村 T ₅
Pan- 2023	2. 31	13. 7	2. 70	2. 48	4. 012	199. 7	49. 8 \pm 7. 5	细水河口 T ₂
Pan- 2024	2. 39	12. 5	3. 02	1. 45	4. 264	484. 0	151 \pm 23	细水河口 T ₃
Pan- 2025	2. 71	17. 0	1. 77	2. 45	3. 558	550. 9	155 \pm 23	细水河口 T ₃
Pan- 2026*	2. 07	15. 2	2. 62	2. 94	3. 976	4 947. 3	1 244 \pm 187	楼窝铺 T ₄

注: * 为 E⁺ 心年龄, 其余为 Ge 心年龄。

表 2 样品光/热释光测年结果及参数
Table 2 Results and correlate parameters of TL/IRSL dating

实验 室号	含水量 (%)	U ($\mu\text{g/g}$)	Th ($\mu\text{g/g}$)	K_2O (%)	年剂量率 (Gy/ka)	等效剂量 (Gy)	ESR 年龄 (ka)	备 注
Pan- 6	4. 7	2. 74	12. 22	2. 27	4. 75	517 \pm 17	108. 8 \pm 7. 2	南营村 T ₃
IRPan- 7	2. 6	3. 67	10. 52	2. 14	4. 70	342. 2 \pm 33	72. 8 \pm 7. 2	南营村 T ₃
Pan- 8	2. 6	3. 72	11. 31	2. 34	5. 37	301. 1 \pm 5. 3	56. 1 \pm 3. 5	南营村 T ₂
IRPan- 10	2. 2	3. 15	11. 76	2. 29	4. 72	110 \pm 7. 4	23. 3 \pm 2. 0	白水河口 T ₂
IRPan- 11	9. 3	3. 34	12. 99	2. 57	4. 82	257. 4 \pm 22	53. 4 \pm 5. 1	白水河口 T ₃

注: 样号前加 IR 者为红外释光测年, 其他为热释光测年。

3 主要地貌面的形成时代

金塔河上游盆地中, 剥蚀面之上覆盖着厚约 5 m 左右的胶结砾石层。砾石磨圆度较差, 以次棱角状为主。砾径一般为 3~ 5 cm, 大者可达 30 cm。岩性较为单一, 以青灰色砂岩为主, 含少数的花岗岩。砾石物质胶结紧密, 十分坚硬。其上覆盖 40~ 45 m 厚的黄土。在石关村北山的剥蚀面之上, 砾石层中两个平行样品的 ESR 年龄分别为 1 328 \pm 204 ka B. P.、1 362 \pm 204 ka B. P., 考虑到目前 ESR 测年技术的系统误差(10%~ 15%)^[11], 我们认为这与黄羊河流域剥蚀面之上黄土地层的古地磁年代(1. 4 Ma B. P.)^[9]基本一致。

在剥蚀面之下, 金塔河发育着多级河流阶地, 但由于分布较窄, 若断若续, 在没有系统确切的年代控制之下, 将上下游的阶地进行对比以及划分是十分困难的。现只将主要考察地点的阶地按自上而下的

序列及其时代描述如下:

在南营村附近金塔河发育着 5 级阶地, 河谷最上部为剥蚀面(图 2)。①第五级阶地(T₅): 基座阶地。砾石层相对现代河床的高差为 120~ 130 m, 厚约 10 m, 砾石的磨圆度高, 岩性复杂, 以花岗岩为主。砾径一般为 10~ 20 cm, 大者可达 50~ 80 cm。其上覆盖 15~ 20 m 的黄土。砾石层的 ESR 年龄为 1 247 \pm 187 ka B. P., 这与上游楼窝铺附近最高级阶地的年龄(ESR: 1 244 \pm 187 ka B. P.)相一致, 说明它们应为同一级阶地。②第四级阶地(T₄): 基座阶地, 相对高度约 80 m。砾石层特征与 T₅ 大致相似, 顶部堆积着 10~ 15 m 的黄土。砾石层的 ESR 年龄为 785 \pm 118 ka B. P.。③第三级阶地(T₃): 堆积阶地, 砾石层高出河床约 30 m, 未见底。砾石磨圆度高, 岩性复杂, 以花岗岩为主, 含灰黑色砂岩、变质岩等。砾径一般为 10~ 20 cm, 大者可达 80 cm。上覆 25 m 厚的黄土, 颗粒较粗。内含一层棕红色古土壤, 厚约 0. 5 m。底部是具有水平层理的粉沙质细

沙。T₃ 的两个测年物质均采自砾石层顶部的黄土物质,其结果分别为 108.8 ± 7.2 ka B. P. (TL)、72.8 ± 7.2 ka B. P. (IRSL)。^④第二级阶地(T₂):堆积阶地,砾石层高出河床为 23 m。其上堆积有少

量黄土。黄土底部的 TL 年龄为 56.1 ± 3.5 ka B. P.。^⑤第一级阶地(T₁):堆积阶地,砾石层顶的距河床约 5~10 m,上覆 0.5~1 m 的土状物。其中泥炭的¹⁴C 测年结果为 4 356 ± 42 a B. P.。

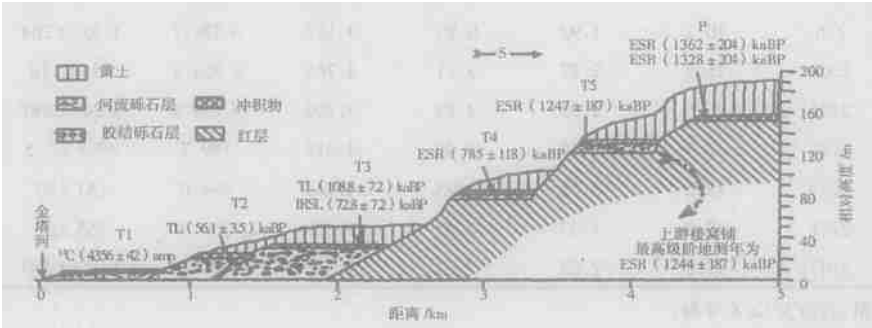


图 2 南营村附近的金塔河阶地序列

Fig. 2 Terraces sequences of Jinta River at the Nanying Village

支流白水河口共发育 4 级阶地(图 3A),砾石层厚度一般为 3 m 左右,磨圆度高,岩性复杂,以花岗岩为主。直径一般 10~20 cm,大者可达 0.5 m。各级阶地之上覆盖约 5 m 左右的土状物质。第二三级阶地的年代样品均采自砾石层顶部的黄土状物质,其 IRSL 年龄分别为 23.3 ± 2.0 ka B. P.、53.4

± 5.1 ka B. P.。在细水河汇入口处大水河的北岸亦保存着 4 级阶地(图 3B),砾石层厚度一般为 3 m 左右,磨圆度高,岩性复杂,以花岗岩为主。其上堆积的黄土与土状物质厚度在 10 m 以内。其中 T₂ 砾石层的 ESR 年龄为 49.8 ± 7.5 ka B. P., T₃ 的 ESR 年龄为 151 ± 23 ka B. P.、155 ± 23 ka B. P.。

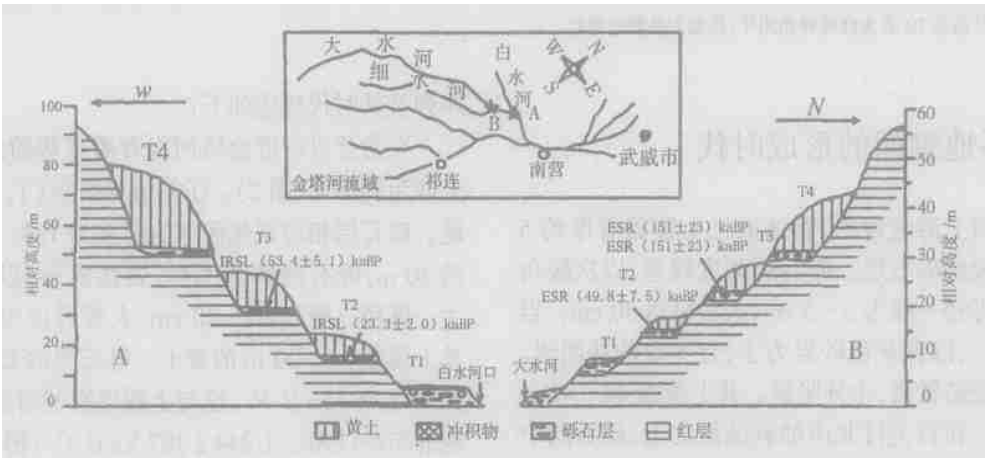


图 3 金塔河上游段的阶地序列

Fig. 3 Terraces sequences of the upper reaches of Jinta River

4 流域层状地貌面的成因

剥蚀面发育的停止是构造抬升终止侵蚀旋回的结果。因此,它的解体指示了山地的强烈隆升^[12]。根据上述研究,1.4 Ma B. P. 前后祁连山东段山麓

剥蚀面解体,这充分说明该区此时发生过一次强烈的抬升。同时其他证据揭示此时印度板块在西瓦利克带向欧亚大陆板块快速俯冲,从而引起青藏高原的隆升和高原外围山地重新造山,祁连山也是此次构造运动的产物^[13]。六盘山西侧黄河流域的剥蚀面也在 1.8 Ma B. P. 前后解体^[14]。这进一步证实

了在青藏运动 A 幕至 C 幕大约 2 Ma 之间, 高原内外不仅沉积了山麓扇砾岩和湖相沉积, 也是山足剥蚀面广泛发育的时期^[15]。至于两地剥蚀面解体年代的不同, 或许正是青藏高原晚新生代的隆升在区域间存在着差异性的重要表现。其后随着高原的进一步隆升, 各地主要表现为河流溯源侵蚀、扩展水系的源头和阶段性下切并形成一系列阶地。

河流阶地的形成是构造运动、气候变化、基准面升降以及河流系统复杂响应等因素单独或共同作用的结果^[16]。过去的研究表明, 河流系统对基准面变化的响应并不能波及到上游地区^[17]。全新世以来河西走廊平原区的河流下切一般发生在气候湿润的背景下^[18], 对应于石羊河下游尾间湖的高湖面时期^[19], 即基准面的上升而不是下降时, 形成河流阶地。故基准面的变化不可能是该区河流下切形成阶地的成因。

祁连山地作为一个古老的褶皱山系, 因新生代以来印度次大陆与欧亚大陆的碰撞而回返成山^[20]。各种地质地貌证据表明, 第四纪期间祁连山区经历过多次强烈的构造运动^[21], 尤其是 0.8 Ma B.P. 左右的“昆仑运动”和 0.15 Ma B.P. 前后的“共和运

动”, 在青藏高原内部及其周缘都有明显的表现^[22]。这无疑为河流阶地的形成提供了良好的构造背景, 所以过去一般将河流阶地作为新构造运动的标志^[3-5]。同时, 第四纪以来该区气候变化受全球冰量的控制, 主要表现为东亚季风的演变和沙漠周期性的扩张与退缩, 冬季风和夏季风在万年尺度上呈相互交替, 此消彼涨的耦合关系^[23]。它们对区域地貌的发育演化同样产生了深刻的影响, 如沙沟河流域阶地砾石层一般堆积发生在冰期, 下切作用则发生在冰期向间冰期转型时段^[6]。从图 4 中我们也可以发现这样的一个规律, 河流阶地砾石层一般堆积在冰期, 如金塔河南营村 T₁ 均为 MIS₂ 阶地, T₂ 为 MIS₄ 阶地, T₃ 为 MIS₆ 阶地, T₄ 为 MIS₂₀ 阶地等。至于阶地下切时段, 从南营村 T₃ 砾石层顶部黄土底部的两个年龄(108.8 ± 7.2 ka B.P.、72.8 ± 7.2 ka B.P.) 推断其下切过程应处于 S1 发育(即间冰期)期间。而其他阶地可能不足而一, 由于资料的匮乏尚难予给出准确的断定。不过这些事实同样可以说明即使在构造活动区域, 气候变化对河流系统的加积-下切旋回仍然起着重要的控制作用。

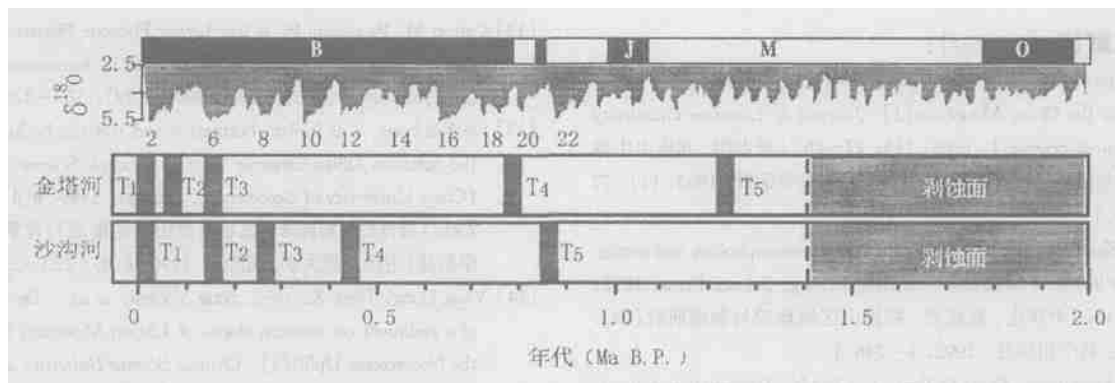


图 4 金塔河流域层状地貌发育与深海氧同位素曲线(ODP607) 对比

Fig. 4 Ages of river terraces of the Jinta River comparing with marine record

从测年资料我们看出金塔河阶地序列的年代在不同河段相差较大, 如南营村的阶地序列可延伸至早更新世, 其上游细水河口与白水河口所得到低级阶地的年代均在晚更新世之内, 而楼窝铺附近最高级阶地却与南营村最高级阶地的年龄相一致。这种差异可能源于地貌学科的性质, 它不断地破坏着自己的历史。高山峡谷之中, 河流阶地原本较为狭窄, 后期的改造作用(如河流的侧蚀拓宽、滑坡等) 又可能完全破坏以前形成的阶地。这种时空间断的地貌

特征给研究工作带来极大的困难, 还有待于进一步工作, 对河流各段最高级阶地进行定年研究, 以晰明理。同时这也告诉我们在没有绝对年代控制之下, 河流阶地进行区域对比是不可行的。

5 结论

1. 上新世晚期青藏运动的发生, 造成了青藏高原的强烈隆起。在此后大约 2 Ma 的时期, 构造相

对宁静,高原内部及周边地区普遍发育了一期剥蚀面。祁连山东段这级剥蚀面最终解体于 1.40 Ma B. P.,此后区域内的水系重新调整、组合,从而奠定了当今地貌格局的雏形。

2. 随着高原的进一步隆起,第四纪期间金塔河共发育了 5~6 级阶地,形成时代大致为 1.24 Ma B. P.、0.78 Ma B. P.、0.14 Ma B. P.、0.06 Ma B. P.、0.03 Ma B. P. 和 0.01 Ma B. P.。其发育特征、形成年代以及邻区阶地发育模式研究表明,它们是构造隆升以及气候变化双重作用下的产物。

3. 多个不同地点阶地序列的年代学研究表明,由于研究区内河流地貌多为深切峡谷,阶地一般分布较窄,后期破坏严重,在没有绝对年代控制下,进行上下游的对比是不可行的。

致 谢:参加野外考察与室内实验工作的还有上官冬辉、王均平、苏怀、赵井东等人,数据的处理得到史正涛博士的帮助,TL 与 IRSL 样品由中科院西安地球环境研究所张景昭 and 赖忠平研究员测定,¹⁴C 测年由西部环境教育部重点实验室(兰州学)曹继秀高工及徐齐治高工测试完成,在此一并表示感谢。

参考文献(References):

- [1] Li Jijun. Discussion of the mountains age and the Quaternary glaciation in the Qilian Mountains[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 1963, (1): 77~86. [李吉均. 祁连山山地近期年龄及第四纪冰期探讨[J]. 兰州大学学报, 1963, (1): 77~86.]
- [2] Yin Zhesheng, Xu Shuying. The region geomorphology and cartography in the Qilian Mountains[M]. Beijing: Science Press, 1992, 1~246. [尹泽生, 徐叔鹰. 祁连山区域地貌与制图研究[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 1~246.]
- [3] Hou Kangming, Deng Qidong, Liu Baichi. Deformation pattern, rate and forming mechanism for Dongqingding active anticline[A]. In: Wang Yipeng. Research on active faults, Volume 6[C]. Beijing: Seismological Press, 1998. 88~96. [侯康明, 邓起东, 刘百簾. 冬青顶背斜的变形形式/变形幅度及形成机理[A]. 见: 汪一鹏. 活动断裂研究(第6辑)[C]. 北京: 地质出版社, 1998. 88~96.]
- [4] Yang Jingchun, Tan Lihua, Li Youli, et al.. River terraces and Neotectonic evolution at north margin of the Qilianshan Mountains[J]. *Quaternary Sciences*, 1998, (3): 229~308. [杨景春, 谭利华, 李有利, 等. 祁连山北麓河流阶地与新构造演化[J]. 第四纪研究, 1998, (3): 229~308.]
- [5] Zheng Wentao, Yang Jingchun, Duan Fengjun. A study on the relation between deformation of river terraces and Neotectonic activity for the Wuwei Basin[J]. *Seismology and Geology*, 2000, 22(3):

318~328. [郑文涛, 杨景春, 段锋军. 武威盆地晚更新世河流阶地变形与新构造活动[J]. 地震地质, 2000, 22(3): 318~328.]

- [6] Pan Baotian, Burbank D, Wang Yixiang, et al.. A 900 ky. record of strath terrace formation during glacial-interglacial transitions in northwest China[J]. *Geology*, 2003, 31(11): 957~960.
- [7] Pan Baotian, Gao Hongshan, Li Bingyuan, et al.. Step-like landforms and uplift of the Qinghai Xizang Plateau[J]. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(1): 50~57. [潘保田, 高红山, 李炳元, 等. 青藏高原层状地貌与高原隆升[J]. 第四纪研究, 2004, 24(1): 50~57.]
- [8] Watchman A L, Twidale C R. Relative and absolute dating of land surfaces[J]. *Earth-Science Reviews*, 2002, 58: 1~49.
- [9] Wu Guangjian. Tectonic uplifts and climatic changes in eastern Qilian Mountains over the past 0.8Ma[D]. Lanzhou University: The Ph. D. Dissertation. 2001, 1~161. [邬光剑. 祁连山东段 0.8 Ma 以来的构造隆升与气候变化[D]. 兰州大学: 博士学位论文. 2001, 1~161.]
- [10] Zhao Jingdong, Zhou Shangzhe, Cui Jianxin, et al.. ESR chronology of Bailanghe valley and new understanding of Qilianshan Mountain's Quaternary glaciation[J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(6): 481~188. [赵井东, 周尚哲, 崔建新, 等. 摆浪河流域的 ESR 年代学与祁连山第四纪冰期认识[J]. 山地学报, 2001, 19(6): 481~188.]
- [11] Molodkov A. ESR dating of Quaternary shells: Recent advances[J]. *Quaternary Science Reviews*, 1988, (7): 477~484.
- [12] Coltori M, Pierucini P. A late Lower Pliocene Planation surface across the Italian Peninsula: A key tool in neotectonic studies[J]. *Journal of Geodynamics*, 2000, (29): 323~328.
- [13] Ge Xiaohong, Liu Junlai. Formation and tectonic background of the northern Qilian orogenic belt[J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 1999, 6(4): 223~230. [葛肖虹, 刘俊来. 北祁连山带的形成与背景[J]. 地质前缘(中国地质大学, 北京), 1999, 6(4): 223~230.]
- [14] Yang Dong, Fang Xiaomin, Song Yougui, et al.. Development of a pediment on western slopes of Liupan Mountain related to the Neotectonic Uplift[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(supp.): 11~15.
- [15] Li Jijun. Uplift of the Qinghai-Tibet Plateau and global change[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1995. 1~207.
- [16] Schumm S A. The Fluvial System[M]. New York: Wiley, 1977. 338.
- [17] Schumm S A. River response to baselevel change: implications for sequence stratigraphy[J]. *Journal of Geology*, 1993, 101: 279~294.
- [18] Li Youli, Yang Jingchun. Response of alluvial terraces to holocene climatic changes in the Hexi Corridor basins, Gansu, China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1997, 17(3): 248~252. [李有利, 杨景春. 河西走廊平原区全新世河流阶地对气候变化的响应[J]. 地理科学, 1997, 17(3): 248~252.]
- [19] Zhang Hucai, Wunnemann B, Ma Yuzhen, et al.. Lake level and climate changes between 42 000 and 18 000 ¹⁴C yr B.P. in the

- Tengger Desert, Northwestern China [J]. *Quaternary Research*, 2002, **58**: 62~ 72.
- [20] Tapponnier P, Xu Zhiqin, Roger F, *et al.*. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau[J]. *Science*, 2001, **294**: 1671 ~ 1676.
- [21] Zhao Zhijun, Shi Zhengtao, Fang Xiaomin. Stratigraphic records of early-mid Pleistocene tectonic events in northern Qilian Mountains[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Science)*, 2001, **37**(6): 92~ 98. [赵志军, 史正涛, 方小敏. 祁连山北缘早中更新世新构造运动的地层记录[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2001, **37**(6): 92~ 98.]
- [22] Li Jijun, Fang Xiaomin. Uplift of Tibetan Plateau and environmental changes: A brief review[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **45**(23): 2177~ 2181. [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.]
- [23] Wu Guangjian, Pan Baotian, Li Jijun, *et al.*. Tectonic-climatic events in eastern Qilian Mountains over the past 0.83 Ma[J]. *Science In China (Series D)*, 2001, **44**(Suppl.): 251~ 260. [邬光剑, 潘保田, 李吉均, 等. 祁连山东段 0.83Ma 以来的构造-气候事件[J]. 中国科学(D 辑), 2001, **31**(增): 202~ 208.]

Age and Genesis of the Stepped Geomorphic Surfaces in Jinta River Basin of the Eastern Qilian Mountains

GAO Hongshan¹, PAN Baotian¹, LI Jijun¹, WU Guangjian², LI Bingyuan³, YE Yuguang⁴

(1. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. Institute of Geographical Science and Natural Resource, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 4. Institute of Marine Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China)

Abstract: In the Jinta River basin, two planation surfaces and one erosion surface are developed, which are Summit Surface, Main Surface and Erosion Surface. The Summit Surface have formed in Oligocene and early Miocene, and the Main Surface between 20~ 3.6 Ma B. P., according to the Qinghai-Xizang Plateau research. The ESR chronology on gravel beds, show that the erosion surfaces dismantled around 1.4 Ma B. P.. Therefore, a dramatic uplift event was foreseen in east Qilian Shan at around 1.4 Ma B. P.. However, dismantling of the erosion surface in the Yellow River watershed west to Liupan Shan occurred around 1.8 Ma B. P.. The discrepancy in timing the dismantling of the erosion surface may reflect, to some extent, regional differential uplifts of the Tibetan Plateau during the late Cenozoic. With subsequent uplifting of the Tibetan Plateau, episodic river down-cutting, stream captures and headwater erosions can be seen widely throughout this region, created several alluvial terraces in the Jinta River valley. According to the ESR (Electron spin resonance), TL (Luminescence), IRSL (Infrared stimulated luminescence) and ¹⁴C dating methods, the ages of 6 terrace is 1.24 Ma B. P., 0.87 Ma B. P., 0.78 Ma B. P., 0.42 Ma B. P., 0.25 Ma B. P., 0.14 Ma B. P. and 0.01 Ma B. P. respectively. After analyses on the ages of gravel bed accumulations and the ages of channel down-cuttings, we find that climate variations play significant roles in controlling regional geomorphic evolutions even within the tectonic active regions.

Key words: chronology; erosion surfaces; terrace; Jinta River; the east of Qilian Mountains