

文章编号: 1006-6616 (2003) 04-0363-08

川西高原岷江上游河流阶地初步研究

杨农¹, 张岳桥¹, 孟辉², 张会平^{1,3}

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 3. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 基于岷江上游干流阶地地貌的野外观察和阶地沉积物的 ESR 年代测定, 结合前人阶地测年数据, 阐述了岷江上游干流晚第四纪阶地的形成过程和河谷下切历史, 探讨了阶地演化对岷山和龙门山构造带隆升的响应过程。

关键词: 岷江; 河流阶地; 构造隆升; 晚新生代; ESR 测年

中图分类号: P512.31, P546

文献标识码: A

0 引言

岷江上游发源于川西高原东北部贡嘎岭和塔玛下拉两个源头, 纵贯岷山和龙门山南北隆起带, 向东流经成都平原进入长江干流。岷江上游(都江堰市以上)主河道长 330 km。

岷江上游河谷地形地貌特征记录了青藏高原东部边缘晚新生代间歇性隆升过程, 而岷江河谷阶地地貌则直接反映了岷山和龙门山隆起带晚第四纪隆升过程。前人对岷山和龙门山隆起带进行过广泛的研究^[1-14], 这些工作主要从构造格架、盆山耦合、构造地貌、活动断裂、地震地质等方面研究岷山和龙门山隆起带新生代构造活动历史和演化规律。

河谷地貌和河流阶地的观测是新构造研究的重要方面, 在青藏高原隆升历史的研究中得到广泛的应用^[15-18]。本文基于对前人观测资料的分析、总结, 通过野外河流阶地的调查和 ESR 年代测试, 重点研究岷江上游河流阶地的发育特征、河谷下切历史及其对岷山和龙门山构造带隆升过程的响应。

1 岷江上游构造地貌特征

岷江上游地处青藏高原中段的川西高原东北边缘, 东北侧为岷山, 东南侧为龙门山, 西南为邛崃山, 西北地区是若尔盖高原。岷江上游北段为岷山构造带地区, 自西而东包括若尔盖东山链、岷江南北向谷地、岷山隆起构造地貌; 南段自西而东为邛崃山、北东向岷江谷地过龙门山进入成都平原。

岷江上游干流处于流域的东部边界地带, 茂县以上沿岷山隆起带的西侧向南经茂县—汶

收稿日期: 2003-07-01

基金项目: 国土资源部“十五”重点基础研究项目(编号: 20010202)

作者简介: 杨农(1962-), 男, 研究员, 主要从事区域地质、构造地质研究。

川—玉龙沿龙门山构造带走向流向西南，由玉龙—璇口转向南渐次穿过构造带不同构造单元，自璇口向东至都江堰流入成都平原(图1)。支流在干流的西侧发育，主要有小姓沟(热务河)、松坪沟、黑水河、杂谷脑河、草坝河和鱼子溪等。

岷江上游地貌特征明显受岷山构造带和龙门山构造带控制。根据国土资源部十五重点基础研究项目“中国东西部地貌边界带新构造运动及其对环境分异的影响”的研究成果，川西高原及龙门山地区晚新生代以来以断裂活动和持续的隆升为主，经历了中新世末(6Ma左右)和上新世末(3Ma左右)两个重要的隆升时期，龙门山逆冲推覆构造带的2条主边界断裂带即汶川—茂汶断裂和映秀—北川断裂，在早更新世(1.2~1.3 Ma)和中更新世末(0.5Ma左右)发生强烈的活动；这个时期岷山和龙门山构造带进入了地形大切割时期。

2 岷江上游阶地地貌特征与形成年龄

自贡嘎岭到都江堰，岷江上游河床海拔高程从3400m下降到900m(图2)，沿河谷发育的阶地海拔高程也相应下降，不同河段阶地的级别、相对高差也发生相应变化。阶地主要发育在盆地和两河交汇处，如斗鸡台盆地、漳腊盆地、茂县盆地和汶川盆地、鱼子溪与岷江干流交汇处、杂谷脑河与岷江干流交汇处等。低阶地主要发育在宽阔的河谷地带，如漳腊到镇江关段，但高阶地不甚发育；在峡谷地带，如茂县的两河口至马脑顶、映秀到玉龙段等，阶地发育少且分布不连续。

岷江上游谷地以发育基座型阶地为主，侵蚀阶地和堆积阶地不发育。不同级别的阶地物质组成不同，一般情况，I、II级阶地由砾石层组成，拔河高度小于5m，沿河分布最连续的是III级阶地，以砾石和砂互层为特点，层序、韵律都很清楚，如茂县南部岩头

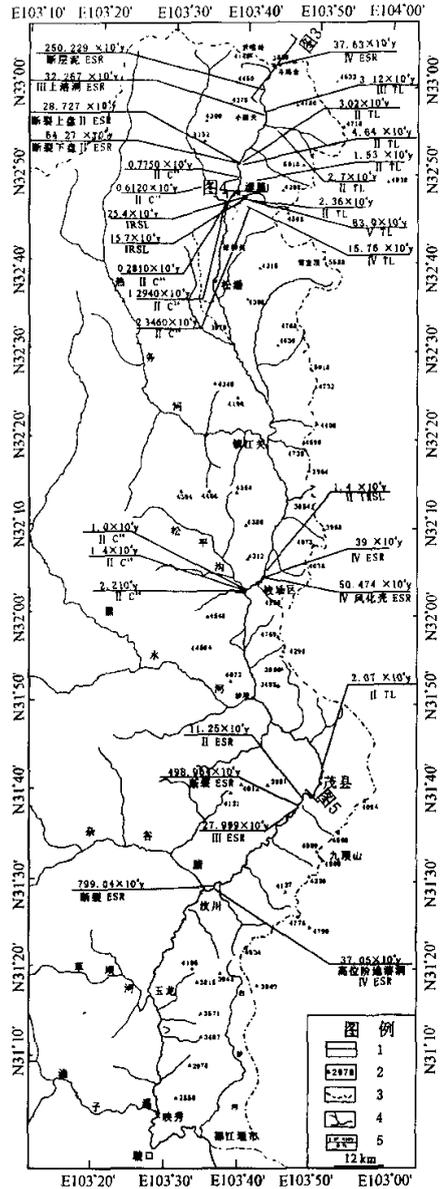


图1 岷江上游水系图和阶地年龄数据

Fig.1 Drainage system of the upper reaches of the Minjiang River and ages of the river terraces

1. 断层; 2. 山峰及海拔高度(m); 3. 山脊线;
4. 河流河谷; 5. 年代/位置、测试方法

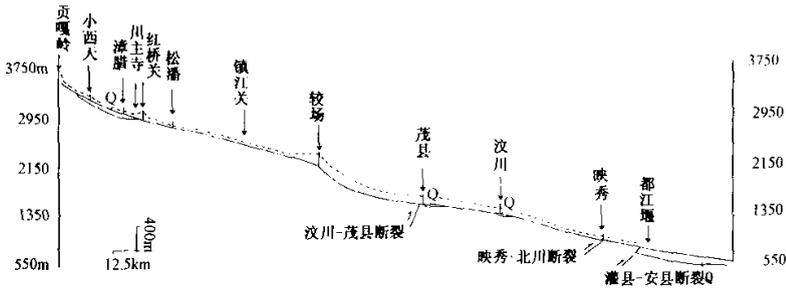


图 2 岷江上游河道及第 3 级阶地纵剖面图

Fig.2 Longitudinal profile of the river course of the upper Minjiang River and terrace-III

寨等地。干流阶地与支流阶地的发育情况差别较大，总体而言，支流中少有阶地发育，如热务河、鱼子溪、黑水河等，但在杂谷脑河中阶地发育。

岷江上游阶地发育最好的地段有 2 个，即漳腊—斗鸡台盆地（惯用名称；图 3）和茂县盆地。

漳腊盆地和斗鸡台盆地实际是岷江上游两个独立的盆地（图 4）。这 2 个盆地是在岷江断裂带基础上发育的新近纪侵蚀盆地，于上新世末开始接受沉积。盆地中堆积了早更新世的文家祠组和中更新世观音山组，两者之间不整合接触。文家祠组是一套冰川、冰水沉积，地层明显发生变形，倾角达到 25~30°；该组没有测年资料。观音山组是一套冲积扇沉积，地层向西倾斜，平均倾角 10°左右，西厚东薄，最厚处近 300 m。目前该组获得的地层年龄数据如下：笔者在斗鸡台观音山组上部测得的 ESR 年龄为 37.6 万年，赵小麟在传子沟测得 TL 年龄为 83 万年^[3]，Kirby 用 IRSL 方法测得的上部年龄为 15.7 万年，下部年龄为 25.4 万年^[13]。这些年龄数据表明观音山组地层时代为中更新世。

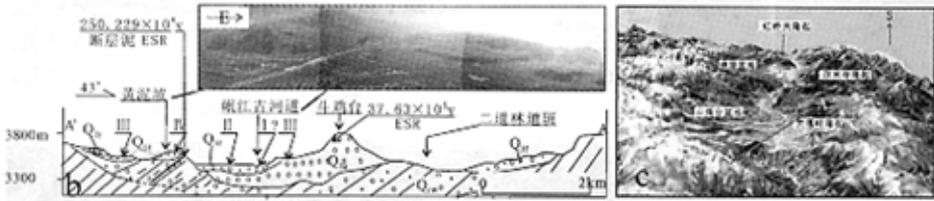


图 3 岷江上游斗鸡台盆地剖面图

Fig.3 Cross section of the Doujitai basin in the upper reaches of the Minjiang River

a. 斗鸡台盆地远景照片，镜头向南；b. 斗鸡台盆地第四系与阶地剖面图，据四川省地质矿产局修改；I~IV. 阶地级别；Q_{1w}. 下更新统文家祠组；Q_{2k}. 中更新统观音山组；Q_{3d}. 中更新统对河寺组；Q_{3f}. 上更新统飞机坝组；c. 斗鸡台盆地—漳腊盆地 DEM 与 TM 合成图，A—A' 示图 b 位置。

观音山组沉积之后，盆地进入了河流阶地发育阶段。对河寺组是早期的河流相沉积，由黄灰色碎石层夹黄色沙质粘土层、砂砾层等组成，构成河流的 III 级阶地，基座为文家祠组或观音山组。在观音山组顶部尚发育第 IV 级侵蚀阶地，但分布不连续，侵蚀面被黄土覆盖，黄土的 TL 年龄为 15 万年^[3]。自贡嘎岭到虹桥关，沿河道两侧 III 级阶地总体连续分布，在斗鸡台盆地中阶地于河道两侧基本对称展布，阶地拔河高度 30~50m，阶地东西宽度 1~2km。漳

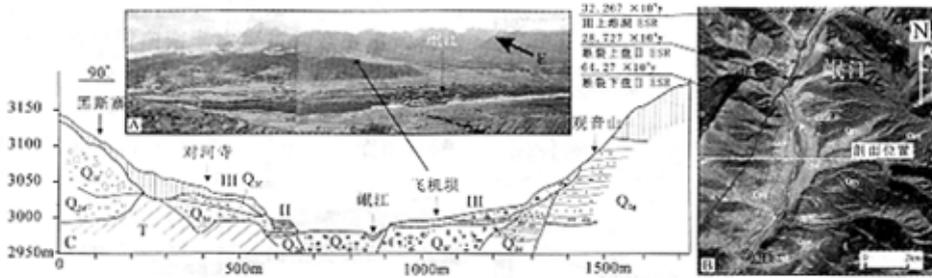


图4 岷江上游漳腊盆地阶地剖面图

Fig.4 Terrace section of the upper reaches of the Minjiang River across the Zhangla basin

A. 盆地地貌远景, 镜头向东; B. 盆地航空全景影像; C. 阶地剖面图, 图例同图3, 位置如图b所示

腊盆地内的 III 级阶地由对河寺组和上覆黄土 (中更新统上部元山子组) 构成, 拔河高度 80 ~ 90m, 河道两侧发育不对称。两盆地内第 II 级阶地分布连续, 拔河高度 13 ~ 15m, 由上更新统飞机坝组砾石层构成, 阶地在主干河道和支流连续、对称分布, 反映阶地形成时期现今水系基本定型。第 II 级阶地的 TL 年龄在 1 ~ 4 万年^[3], ¹⁴C 年龄为 0.7 万年, 形成于晚更新世^[3]。I 级阶地由现代冲积砾石构成, 拔河高度 1 ~ 5m, 沿河道分布。

茂县盆地位于岷江由南向西南流向转折处, 盆地范围不大, 盆地内发育 4 级阶地 (图 5)。I 级阶地拔河高度 1 ~ 2m, 由河漫滩砾石组成; II 级阶地拔河高度 8 ~ 12m, 由冲积、洪积、泥石流扇组成, 以磨圆分选极差的灰岩角砾泥石流堆积为特征, 在茂县盆地内可见 5 个

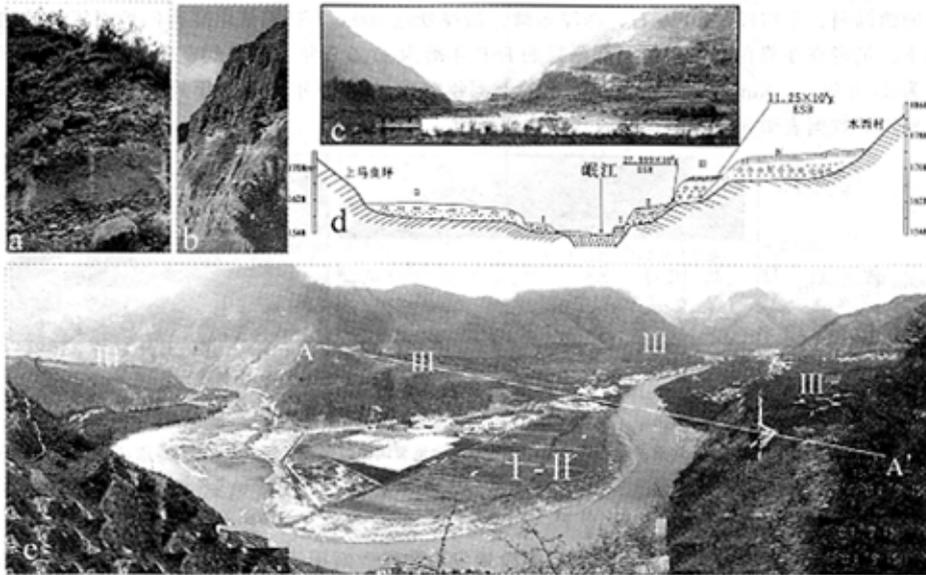


图5 岷江上游茂县盆地及阶地

Fig.5 Maonian basin and river terraces

a. II 级阶地组成; b. III 级阶地组成; c. 阶地剖面远景; d. 阶地剖面图;

e. 茂县第四纪盆地阶地分布, I-IV 为阶地级别。A-A' 为剖面图位置, 镜头向北东方向。

这样大型的泥石流扇；在河谷地段，Ⅱ级阶地沿河两侧分布连续，拔河高度增大，次级阶面增加，阶地堆积物以砂砾石互层为主，砂层中发育交错层理和斜层理，TL年龄为2.07万年^[3]。Ⅲ级阶地在茂县盆地呈典型的阶状地貌，拔河高度100 m左右，由砾石层、粘土层、土状黄土和灰岩细粒砂等组成，本文ESR测定结果，底部年龄28万年，上部黄土层年龄11万年。在第Ⅲ级阶地之上尚发育1个层状地貌面，上覆以黄土，下部局部见到砾石层。

表1列举了不同作者获得的岷江上游阶地的所有年代学数据。阶地测年的主要方法包括TL、ESR和¹⁴C等。近年来ESR方法不断地被用于新构造年代学研究，取得较好的成果^[19,20]。本文主要采用ESR方法进行阶地定年。

3 岷江上游阶地年龄数据和河流下切速率的讨论

图6为岷江上游河流阶地年龄的直方分布图。可以看出，年龄小于10万年的居多，大于10万年的数据分布较离散，以10~40万年居多，大于40万年的很少。这种情况说明，目前对岷江阶地的测年主要针对中更新世晚期和晚更新世以来形成的低阶地，而对于中更新世早期或更早时期形成的高阶地，研究工作相对较少。另外，我们注意到，不同的测年方法之间似存在系统的年龄偏差，大体上，ESR年龄数据偏老，而¹⁴C年龄数据偏新，这种差别基本符合这些方法对第四纪地质体的测年规律^[22]。

从图1、图2可以看出，岷山—龙门山构造带中更新世以来的不断隆升造成了岷江河谷的下切和阶地的形成。岷江断裂带、茂县—汶川断裂中更新世以来的活动致使贡嘎岭—漳腊段、茂县—玉龙段河道两侧阶地的不对称发育特性。

河流下切速率可以通过拔河高度与阶地年龄进行粗略估算。图7展示了不同河段下切速率的差异，几个下切速率高值段分别为贡嘎岭、杂米寺、虹桥关、较场和茂县。图8展示了不同年代的河流下切速率，可以看到30~60万年保持稳定持续的下切，25~30万年间下切速率较小，10~25万年和3万年以来进入较快速下切，较小年龄段的图形由于几个¹⁴C年龄值偏低导致求得的下切速率过大。

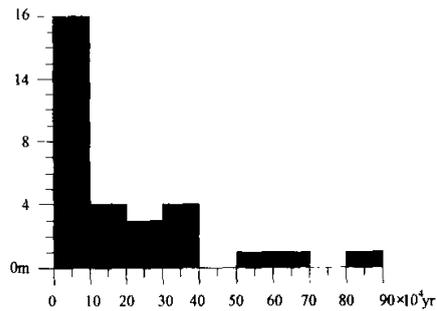


图6 岷江上游河流阶地年龄分布

Fig.6 Histogram of terrace ages along the upper reaches of the Minjiang River

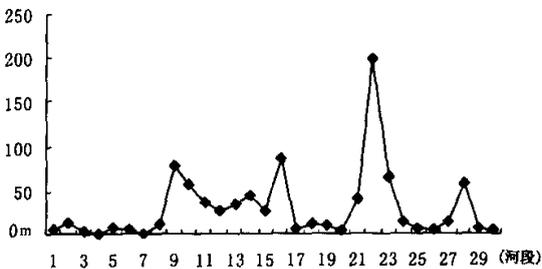


图7 河流下切速率与河段的相关曲线图

Fig.7 Curve of the river incision rate vs. river sections

表1 岷江上游阶地测年数据表

Table 1 Dating age data of river terraces along the upper reaches of the Minjiang River

编号	河段	地点	阶地	拔河高度 (m)	测年方法	年代 ($\times 10^4$ yr)	下切速率 $m/\times 10^4$ yr	资料来源
1	尔米寺—贡嘎岭	斗鸡台	IV	246	ESR	37.63	6.5	本文
2	尔米寺—贡嘎岭	小西天北	III	40	TL	3.12	12.8	赵小麟等 ^[3]
3	尔米寺—贡嘎岭	卡卡沟	III以上溶洞	124	ESR	32.267	3.8	本文
4	漳腊—尔米寺	川盘	断裂改造II	25	ESR	28.727	0.9	本文
5	漳腊—尔米寺	川盘	断裂改造II	25	TL	3.02	8.3	周荣军等 ^[8]
6	漳腊—尔米寺	川盘	断层泥II	25	TL	4.64	5.4	周荣军等 ^[8]
7	漳腊—尔米寺	川盘	断裂改造II	28	ESR	64.27	0.4	本文
8	漳腊—尔米寺	山巴乡	IV	150	TL	13.48	11.1	周荣军等 ^[8]
9	漳腊—尔米寺	漳腊北	II	60	¹⁴ C	0.775	77.4	Kirby et al. ^[13] EK97-9
10	漳腊—尔米寺	漳腊北	II	35	¹⁴ C	0.612	57.2	Kirby et al. ^[13] EK97-8
11	漳腊—尔米寺	漳腊	I	10	¹⁴ C	0.281	35.6	Kirby et al. ^[13] EK97-10
12	漳腊—尔米寺	漳腊	II	40	TL	1.53	26.1	赵小麟等 ^[3]
13	漳腊—尔米寺	漳腊	II	80	TL	2.36	33.9	赵小麟等 ^[3]
14	尔米寺—贡嘎岭	祁命	II	120	TL	2.7	44.4	周荣军等 ^[8]
15	漳腊—尔米寺	漳腊 川主寺	II	35	¹⁴ C	1.294	27.0	Kirby et al. ^[13] EK97-26
16	漳腊—尔米寺	林坡传子沟	II	200	¹⁴ C	2.346	85.3	Kirby et al. ^[13] EK96-1
17	漳腊—尔米寺	传子沟	IV 基座上部	80	IRSL	15.7	5.1	Kirby et al. ^[13] EK98-6
18	漳腊—尔米寺	传子沟	IV 基座下部	300	IRSL	25.4	11.8	Kirby et al. ^[13] EK98-9
19	漳腊—尔米寺	传子沟	IV	160	TL	15.76	10.2	赵小麟等 ^[3]
20	漳腊—尔米寺	传子沟	IV 基座上部	250	TL	83	3.0	赵小麟等 ^[3]
21	茂县—漳腊	较场北	II 湖相沉积	56	IRSL	1.42	39.4	Kirby et al. ^[13] EK98-5
22	茂县—漳腊	较场	II 湖相沉积	198	¹⁴ C	1	198.0	段丽萍等 ^[21]
23	茂县—漳腊	较场	II 湖相沉积	90	¹⁴ C	1.4	64.3	段丽萍等 ^[21]
24	茂县—漳腊	较场	II 湖相沉积	30	¹⁴ C	2.2	13.6	段丽萍等 ^[21]
25	茂县—漳腊	较场	II 河流相沉积	196	ESR	39	5.0	本文
26	茂县—漳腊	较场	II 河流相沉积	180	ESR	50.474	3.6	本文
27	汶川—茂县	茂县药沟东	III 上部	140	ESR	11.025	12.7	本文
28	汶川—茂县	茂县北	II	120	TL	2.07	58.0	赵小麟等 ^[3]
29	汶川—茂县	茂县岩头寨	III 下部	160	ESR	27.999	5.7	本文
30	汶川—茂县	汶川县城北	IV 溶洞堆积	160	ESR	37.05	4.3	本文

注: ESR数据由地质力学研究所 ESR 实验室测定; 拔河高度本文部分由野外 GPS、气压高程计测定; 其他来自于文献或根据文献投图获得。

4 初步结论

(1) 通过岷江上游河流阶地的野外观测和年代学分析, 初步确定了岷江上游 I-III 级阶地的发育特征和形成年龄。研究表明, 岷江上游河流阶地地貌的形成和演化反映了岷山和龙门山构造带中更新世以来隆升过程, 这种复杂多变的隆升过程造成了时间上的阶段性和沿河流走向上的差异性等特点, 而不同河段的下切幅度和速率差异同时也受局部断裂活动的影响。

(2) 通过漳腊盆地和茂县盆地的对比分析, 建立了岷江上游 III 级阶地连续分布特征, 指出中更新世中期为河流快速的堆积和随后的侵蚀活动时期。

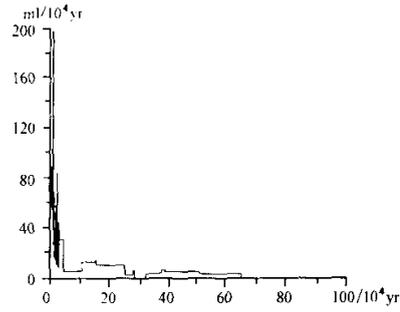


图8 河流下切速率与年代相关曲线图

Fig.8 Curve of the river incision rate vs terrace ages

参 考 文 献

- [1] 唐荣昌, 文德华, 黄祖智, 等. 松潘-龙门山地区主要活动断裂带第四纪活动特征 [J]. 中国地震, 1991, 7 (3): 64~71.
- [2] 唐荣昌, 韩渭宾. 四川活动断裂与地震 [M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- [3] 赵小麟, 邓起东, 陈社发. 岷山隆起的构造地貌学研究 [J]. 地震地质, 1994, 16 (4): 429~439.
- [4] 邓起东, 陈社发, 赵小麟, 等. 龙门山及其邻区的构造和地震活动性及动力学 [J]. 地震地质, 1994, 16 (4): 389~403.
- [5] 陈社发, 邓起东, 赵小麟, 等. 龙门山中段推覆构造带及相关构造的演化历史和变形机制 (一) [J]. 地震地质, 1994, 16 (4): 404~412.
- [6] 陈社发, 邓起东, 赵小麟, 等. 龙门山中段推覆构造带及相关构造的演化历史和变形机制 (二) [J]. 地震地质, 1994, 16 (4): 413~421.
- [7] 赵小麟, 邓起东, 陈社发. 龙门山逆断裂带中段的构造地貌学研究 [J]. 地震地质, 1994, 16 (4): 422~428.
- [8] 周荣军, 蒲晓虹, 何玉林, 等. 四川岷江断裂带北段的新活动、岷山断块的隆起及其与地震活动的关系 [J]. 地震地质, 2000, 22 (3): 285~294.
- [9] 钱洪, 马声浩, 龚宇. 关于岷江断裂若干问题的讨论 [J]. 中国地震, 1995, 11 (2): 140~146.
- [10] 钱洪, 唐荣昌. 成都平原的形成与演化 [J]. 四川地震, 1997, 3: 1~7.
- [11] 杨景春, 邓天岗, 王元海, 等. 岷江上游地区第四纪构造应力状态及其与地震的关系 [J]. 地震地质, 1979, 1 (3): 68~75.
- [12] Arn D., Worley B., Wilson Ch. 等. Differential exhumation in response to episodic thrusting along the eastern margin of the Tibetan plateau [J]. Tectonophysics, 1997, 280: 239~56.
- [13] Kirby E., P. W. Reiners, M. A. Krol, 等. Late Cenozoic evolution of eastern margin of the Tibetan Plateau: Inferences from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and (U-Th)/He thermochronology [J]. Tectonics, 2002, 21 (1): 1~20.
- [14] Chen, S., Wilson C. J. L., Deng, Q. D., Zhao X. L. and Luo Z. Active faulting and block movement associated with large earthquakes in the Min Shan and Longmen Mountains, northeastern Tibetan Plateau [J]. J. Geophys. Res., 1994, 99 (B12): 24025~24038.
- [15] 吴忱, 马永红, 张秀清. 华北山地—地形面、地文期与地貌发育史 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1999.
- [16] 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: 229~237.
- [17] 刘小凤, 刘百旋. 应用“构造—气候旋回”年代学方法确定河流阶地形成时代的初步研究 [J]. 西北地震学报,

- 2001, 23 (4): 395 ~ 403.
- [18] 刘百箴, 刘小凤, 袁道阳, 等. 黄河上游阶地对青藏高原东北部第四纪构造活动的反映 [J]. 地震地质, 2003, 25 (1): 133 ~ 145.
- [19] 史正涛, 张世强, 等. 祁连山第四纪冰碛物的 ESR 测年研究 [J]. 冰川冻土, 2000, 4: 253 ~ 257.
- [20] 史正涛, 业渝光, 赵志军, 等. 酒西盆地晚新生代地层的 ESR 研究 [J]. 中国科学 (D 辑), 2001, 1 (31): 163 ~ 168.
- [21] 段丽萍, 王兰生, 杨立铮, 等. 岷江叠溪古堰塞湖沉积物碳酸盐碳氧同位素记录所揭示的古气候演化特征 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13 (2): 91 ~ 96.
- [22] 杨子燧, 林和茂. 中国第四纪地层与国际对比 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.

STUDY OF THE MINJIANG RIVER TERRACES IN THE WESTERN SICHUAN PLATEAU

YANG Nong¹, ZHANG Yue-qiao¹, MENG Hui², ZHANG Hui-ping¹

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*
2. *China Institute of Geological Environment Measurement, Beijing 100081, China*)

Abstract: Based on field observations and ESR dating of terrace deposits along the upper Minjiang River valley, combined with previously dating ages of the terraces, this paper describes the formation of late Quaternary terraces of the trunk river in the upper reaches of the Minjiang River and its incision history and discusses the response of terrace evolution to the uplift of the Minshan-Longmenshan tectonic belt.

Key words: Minjiang River; river terrace; tectonic uplift; late Cenozoic; ESR dating