

引用格式:张信宝, 胡凯衡, 刘或, 张启源, 刘维明, 王世杰. 古老的长江, 年轻的三峡[J]. 山地学报, 2021, 39(5): 611-620.

ZHANG Xinbao, HU Kaiheng, LIU Yu, ZHANG Qiyuan, LIU Weiming, WANG Shijie. The ancient Yangtze River versus the young Three Gorges [J]. Mountain Research, 2021, 39(5): 611-620.

古老的长江, 年轻的三峡

张信宝^{1,2}, 胡凯衡^{1*}, 刘或^{2,3}, 张启源^{1,4}, 刘维明¹, 王世杰³

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041;

2. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州 普定 562100;

3. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 长江的形成演化长期以来一直是地貌学界关注的热点。论文在构造—气候—地貌耦合体系的框架下, 通过长江上游不同类型河流阶地空间分布格局的分析, 推演新生代以来长江上游的水系演化过程。古近纪长江上游地区为断陷湖盆内流水系, 长江尚未形成。古老的长江形成于新近纪, 川江是古长江的上游, 在乌江汇口涪陵附近南流, 沿乌江—沅江—洞庭湖汇入长江中游河段。这一时期, 金沙江南流入海, 未东流汇入川江。三峡贯通大致发生于新近纪—第四纪之交(年轻的三峡), 原沿乌江南流的川江被袭夺东流, 四川盆地内的川江及支流下切, 形成连续稳定分布的基座阶地。西部高原的南北向古水系被袭夺东流, 横断山区的金沙江、大渡河和岷江等河流急速下切, 深切河谷内滑坡阻河溃决形成的堰塞湖阶地发育。金沙江等河流溯源侵蚀过程仍在继续, 但尚未影响到裂点以上的青藏高原面上河段, 这些河段河谷内的阶地为堆积或埋藏阶地。分布于珠江流域的盲鱼(*Sinocyclocheilus sanxiaensis*, ~0.55 Ma) 出现在秭归附近的长江和云南高原与川中丘陵紫色土酸碱度的差异(前者酸性, 后者中性偏碱性), 这两个证据也是“年轻的三峡”的佐证。

关键词: 古老的长江; 年轻的三峡; 金沙江; 川江; 堰塞湖阶地; 基座阶地

中图分类号: K928.42

文献标志码: A

长江的形成演化长期以来一直是地貌学界关注的热点。江汉盆地新近纪为淡水湖相沉积, 表明当时的“江汉湖”为外流湖, 宜昌以下的长江中下游水系东流入海的格局已经形成, 争论不大^[1-2]。但长江上游水系演化的一些重大地貌科学问题, 如金沙江是否曾经南流, 三峡贯通时间和三峡贯通前川江是否西流入金沙江等, 一直未能形成共识^[2-11]。大部分学者认为, 三峡贯通前川江西流入金沙江, 金沙江南流入红河或其他河流汇入南海; 三峡贯通的时间分歧很大, 从 45 Ma 到小于 0.12 Ma 有诸多版本^[2-11]。笔者在消化新生代以来构造运动、气候变

化、冰川、黄土、地貌、和水系演化等领域的前人研究成果基础上, 从构造—气候—地貌体系的角度, 认识黄河、长江的形成演化, 撰写了“黄河、长江形成演化及贯通时间”一文^[11]。文中有关长江形成演化的主要观点是: 三峡贯通前, 川江未西流入金沙江, 而是在涪陵附近南流, 经乌江—沅江—洞庭湖, 汇入长江; 第四纪前, 金沙江已经东流入川江; 长江三峡可能在 0.30 ~ 0.12 Ma 期间完成贯通。

笔者最近又考察了金沙江奔子栏—巧家河段的堰塞湖阶地, 开展了堰塞湖沉积物的地球化学元素物源示踪研究, 通过对长江上游河流阶地类型及其

收稿日期(Received date): 2021-08-15; 改回日期(Accepted date): 2021-10-17

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(91747207); 第二次青藏高原综合科学考察研究专题项目(2019QZKK0902)。[The National Natural Science Foundation of China (91747207); The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (2019QZKK0902)]

作者简介(Biography): 张信宝(1946-), 男, 二级研究员, 主要研究方向: 土壤侵蚀与水土保持。[ZHANG Xinbao (1946-), male, professor, research on soil erosion, soil and water conservation] E-mail: zxbao@imde.ac.cn

* 通讯作者(Corresponding author): 胡凯衡(1975-), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向: 泥石流减灾理论与技术。[HU Kaiheng (1975-), male, Ph.D., professor, research on debris flow mechanism and mitigation] E-mail: khhu@imde.ac.cn

空间分布格局的分析,进一步完善了对长江上游水系形成演化的认识。本文主要介绍长江上游水系形成演化认识的新进展,给出长江上游不同时段的水系格局,阐明“长江是古老的,三峡是年轻的”的长江水系演化的观点。

1 长江上游河流阶地类型及其空间分布格局

长江上游地处我国地貌的第一和第二阶梯,地貌上可分为东部的四川盆地、西部的青藏高原和两者之间的横断山地。四川盆地主体是产状近水平的侏罗—白垩系红层组成的方山丘陵,海拔 300 ~ 700 m;盆地西部的成都平原夹持于龙门山和龙泉山之间,为断陷盆地成因。长江流经盆地南缘(该河段俗称川江),川江北岸支流众多,主要有嘉陵江、沱江和岷江等,南岸主要支流仅有乌江。盆地内主河及主要支流河道比降小,曲流发育,蜿蜒于方山丘陵之间,但流经喀斯特山地的乌江河道顺直,曲流不发育。龙泉山以东的盆地主体部分,除第四纪河流阶地砾石层,无新生代沉积。以西的成都平原,发育有厚达约 400 m 的第四系砂砾层,底部有少量上新世湖相沉积^[12-13]。成都平原西部分布有古近纪含盐沉积^[14]。

横断山区为中高山峡谷地貌,山地海拔多在 3000 m 左右,个别山峰超过了 4000 m,最高峰为海

拔 7556 m 的贡嘎山,山川多为南北走向;南部滇北、滇西北和毗邻的川西南地区为河谷深切的中山高原,高原面海拔 1800 ~ 2500 m 左右。金沙江及其支流雅砻江、安宁河、大渡河和都江堰以上的岷江上游是区内的主要河流。除安宁河外,其余河流河道比降大,峡谷深切。虽然这些河流的主流向是南北向,但金沙江、大渡河等区内河流最后仍横穿南北向的纵向山脉,东流汇入川江。横断山区的断陷盆地多分布于南部,北部较少。这些断陷盆地和安宁河断陷谷地内,发育有厚度不等的新、古近纪河湖相沉积。古近纪湖相沉积部分含膏盐;新近纪湖相沉积部分含煤^[15-17]。金沙江、雅砻江、大渡河等河流河谷内堰塞湖成因的粉细砂、亚黏土为主的河湖相沉积(如昔格达组)组成的阶地分布广泛,以前多为未认识到其堰塞湖成因^[18-37]。

青藏高原区是金沙江、雅砻江、大渡河和岷江等河流的上游地区。高原面海拔 4000 ~ 4500 m,丘谷相间,谷宽丘缓,河流比降小、曲流发育。该区断陷盆地和谷地内有新、古近纪河湖相沉积分布;现代河流的河谷内广泛发育有第四系冰水、冲洪积、湖沼相松散沉积,厚度可逾百米。

四川盆地,横断山地和青藏高原区分别发育有不同类型的河流阶地,其空间分布格局见图 1。四川盆地区。区内长江干流和嘉陵江、沱江、岷江阶地发育,均为基座阶地,分布连续,可长距离对比和追

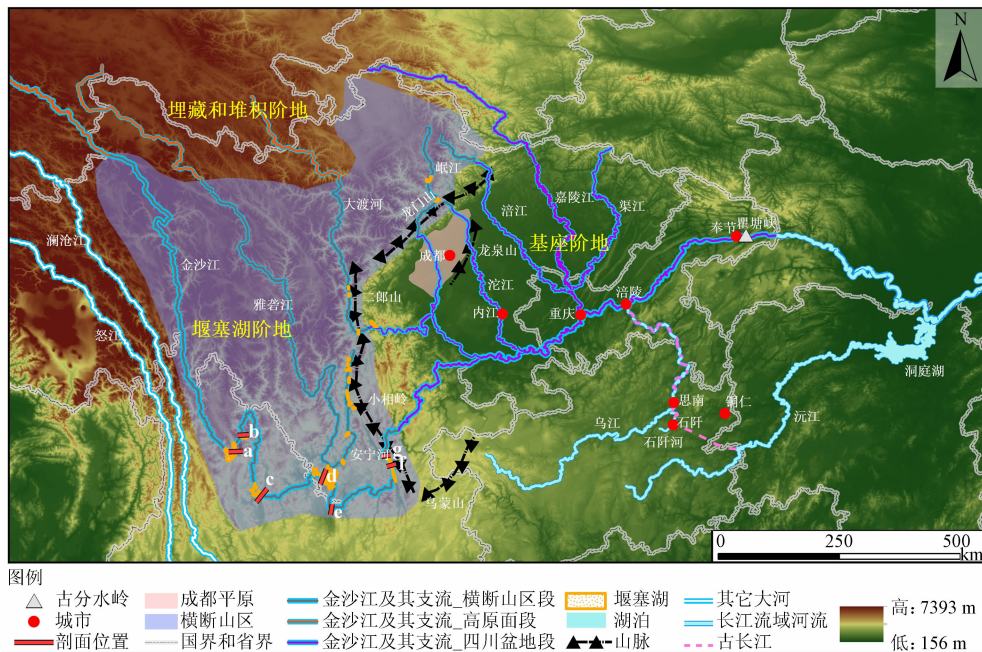


图 1 长江上游河流阶地空间分布格局

Fig. 1 Spatial distribution pattern of river terraces in the upper reaches of the Yangtze River, China

索。如内江沱江东岸长坝山一带的阶地, I ~ V 级阶地均为基座阶地。最高的 V 级阶地是当地的丘顶高原,海拔 400 m 左右,相邻沱江河床海拔高程 295 m,相对高差 100 m 左右(图 2)。阶地砾石成分为石英岩、石英砂岩、花岗岩、脉石英、硅质灰岩等坚硬岩类,无川中丘陵区出露的中生代紫红色砂泥岩等软弱岩类,砾径 10 ~ 20 cm 居多;磨圆好。显然,阶地砾石来源于沱江源头的龙门山^[36]。刘兴诗等对四川盆地不同时期阶地的时代划分如下:天鹅抱蛋期,早更新世末—中更新世初;松林坡期和雅安期为中更新世;广汉期和资阳期为晚更新世^[37]。涪陵以东的川江和以南的乌江河段,笔者没有发现可靠的干流阶地,前人报道的这两个河段的阶地可能是支流阶地。四川盆地是稳定的地台,河流阶地发育稳定,分布连续,学界均认为区内河流阶地是三峡贯通、川江下切的产物^[36-37]。综合现有研究成果,笔者认为三峡贯通发生于第四纪以来,比较可信,但准确时间,尚需进一步研究。部分学者没有认识到河流贯通与连通的区别,通过推移质粒度泥沙的锆石 U-Pb、钾长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄谱的

对比^[2,8,38],得出的三峡第四纪前已经贯通的结论是不可信的!

近年来,横断山区金沙江、雅砻江、大渡河、岷江等河流河谷内的堰塞湖阶地研究有了突破性进展^[18-33,39-43],厘清了堰塞湖过水湖快速沉积和一般湖泊慢速沉积的沉积相差异和堰塞湖的空间分布规律;指出了古地磁、ESR,光释光、热释光等技术不适用于堰塞湖沉积物断代,相关断代结果不可信^[43]。堰塞湖沉积岩性单一,厚度大,湖首一带沉积物粒度较细,多为灰黄色粉细砂、亚黏土湖相沉积;溯源向上,粒度逐渐变粗;湖尾一带,出现河流相砂砾层,除孢子花粉外,化石稀少。金沙江奔子栏—巧家河段,堰塞湖阶地从下游到上游主要有巧家湖、龙街湖、昔格达湖、涛源湖、大具湖、石鼓湖和奔子栏湖等(图 3)。堰塞湖阶地是河谷形成后,两岸山地失稳,滑坡泥石流阻河成湖;阻河坝体切开后,河流下切,湖泊沉积物形成的阶地。根据比较可信的 ^{14}C 年龄,上覆风成沉积物光释光年龄(OSL)和昔格达组底部砂层的宇成核素年龄(TCN),笔者初步认为金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖沉积物年龄上限为晚更新

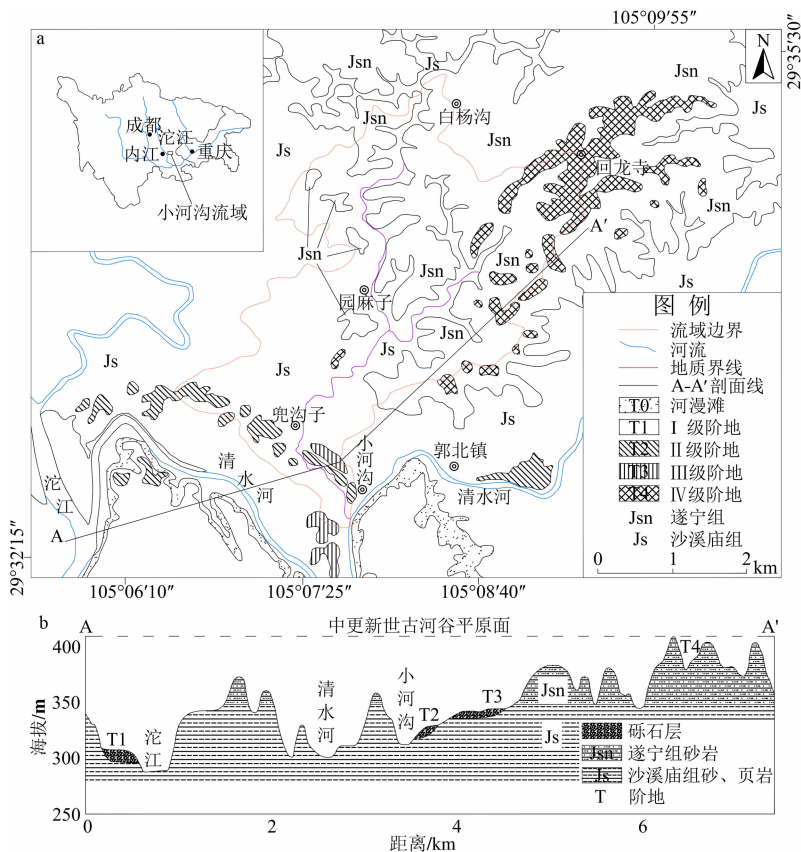


图 2 四川省内江市长坝山一带的阶地^[36]: (a) 空间分布图; (b) 横剖面图

Fig. 2 Terraces of Changba Mountain, Neijiang, Sichuan: (a) Spatial distribution; (b) Cross profile

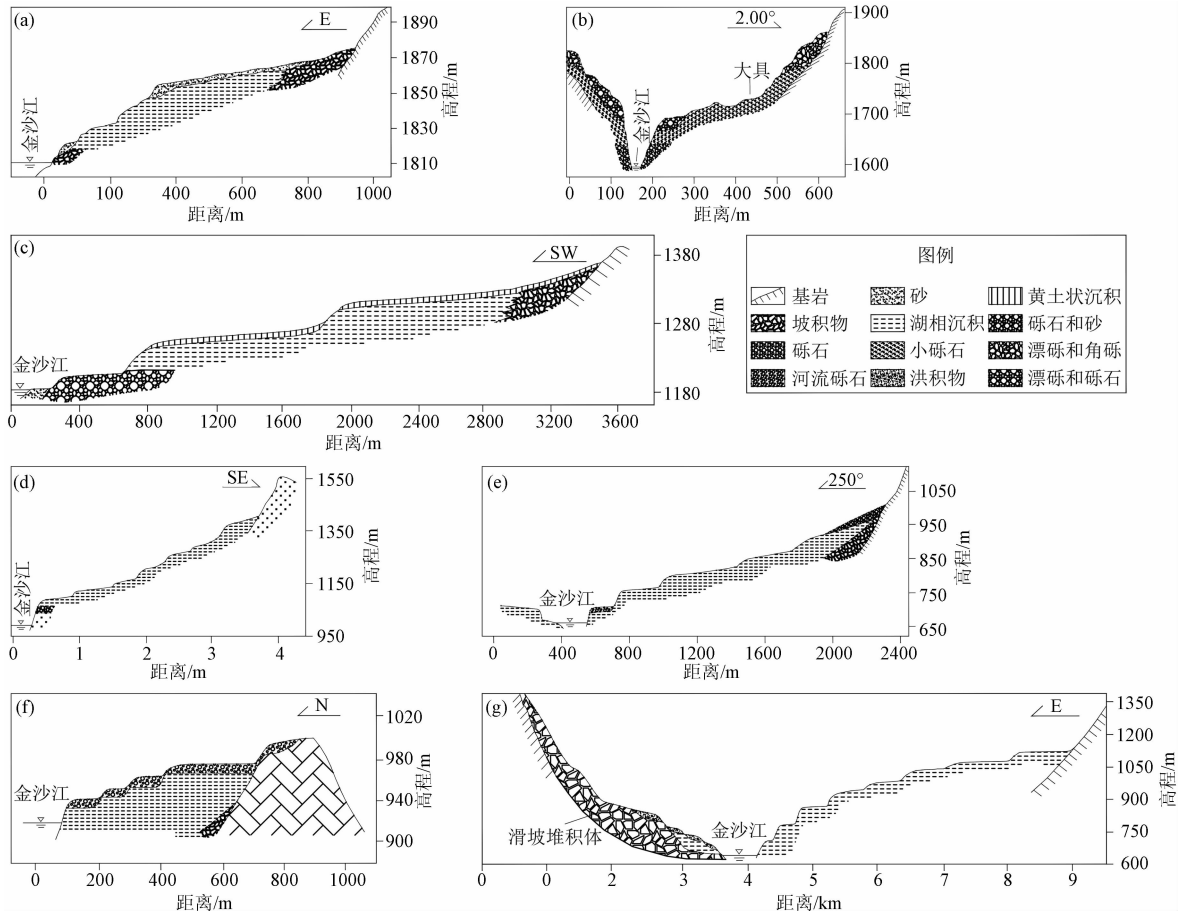


图 3 金沙江石鼓—巧家河段的部分堰塞湖阶地断面图^[21-22]：

(a) 石鼓剖面；(b) 大具剖面；(c) 涛源剖面；(d) 昔格达剖面；(e) 金塘剖面；(f) 龙街剖面；(g) 华弹剖面

Fig. 3 Cross profile of dammed-lake terraces in Shigu - Qiaojia reaches of Jinsha River; (a) Shigu cross profile; (b) Daju cross profile; (c) Taoyuan cross profile; (d) Xigeda cross profile; (e) Jintang cross profile; (f) Longjie cross profile; (g) Huatan cross profile

世,下限为早更新世晚期^[43]。需指出的是,横断山区金沙江等河流的河谷下切、滑坡阻河、堰塞湖溃决的方式、原因和时间等尚未完全明晰,有待进一步深入研究。

青藏高原区金沙江、雅砻江、大渡河和岷江等河流的上游河段的宽谷内,广泛发育的阶地均为堆积或埋藏阶地,表明溯源侵蚀尚未影响到高原面的上游河段。

2 长江上游河流形成演化过程的推演

以下从构造—气候—地貌体系的角度,分析长江上游河流阶地的空间分布格局,推演长江上游河流的形成演化过程。长江上游的水系演化可分为新近纪夷平面水系期和第四纪以来的现代河流水系期。初步确定两期水系的转换时间为新近纪和第四

纪之交,也可能是上新世或早更新世。

新近纪夷平面水系期。新近纪时期,青藏高原隆升和西藏地块东移没有根本改变西南地区的地貌和气候格局,长江上游地区总体上为夷平高原地貌,热带、亚热带干热气候,景观上类似于现代的萨瓦纳稀树草原。东部四川盆地为完整稳定地台的夷平高原,发育有蒲扇状的古向心水系,奠定了现代川江水系的格局。乌江汇口的涪陵是古蒲扇水系的“心”,川江、岷江、嘉陵江、沱江等扇面上的河流流向“扇心”涪陵,再沿“扇柄”乌江南流至思南附近东流,入沅江,经洞庭湖,汇入长江中游河段。新近纪夷平高原的这些河流,比降小,蜿蜒于夷平高原面上,曲流发育。由于气候干旱,河流径流量小,输沙量低。四川盆地以西不是稳定的地台,新构造运动活动强烈,受西藏地块向东推移的影响,形成了一系列西北向—南北向的走滑断裂,沿这些断裂发育有新生代

断陷湖盆。古近纪湖盆沉积为红色砂砾岩,部分含膏盐;新近纪,特别是上新统湖盆沉积含煤线或薄煤层,部分湖盆煤层较厚。高原面上新近纪河流,多沿这些走滑断裂发育,汇入、流出断陷湖盆,河湖串连,形成南流入海的南北向古水系。现代金沙江、雅砻江、安宁河、大渡河和岷江的南北向和北西向河段多为古水系的继承性河段。西部夷平高原的古水系,河道比降不大,河床宽浅,但受走滑断裂约束,河流流向顺直。由于气候同样比较干旱,西部南北向水系河流的径流量也不大,输沙量也低。龙门山、二郎山、大相岭和乌蒙山,大致是新近纪东部古向心水系和西部南北向水系的分界。这也是现代东亚季风气候区和西南季风气候区的分界,可能暗示西南地区的气候分异起始于新近纪。

第四纪以来的现代河流水系期。第四纪以来,在青藏运动、昆黄运动和共和运动的驱动下,青藏高原和横断山地强烈隆升,气候转型为湿润的东亚季风气候和西南季风气候^[44-45]。在地貌和气候强烈变化背景下,长江上游水系发生了深刻的改造。四川盆地区。三峡贯通,涪陵—奉节段的西流古川江支流被袭夺,成为东流的川江干流,侵蚀基准面下降导致川江水系河流强烈下切,四川盆地的第三纪夷平高原被侵蚀肢解为起伏的丘陵。三峡贯通导致河流下切的过程中,川江干流和嘉陵江、沱江、岷江等河流形成了4~5级基座阶地。由于四川盆地是完整稳定的地台,这些基座阶地分布连续,易于追索。第四纪气候湿润,三峡一带碳酸盐岩化学溶蚀加剧,三峡以西奉节附近的川江支流和以东的长江支流,地下暗河连通发展为地表河贯通。袭夺后的长江三峡河段径流剧增,强烈的溯源侵蚀导致涪陵以东的古川江强烈下切,成为川江干流。由于三峡贯通和梵净山隆升,夷平高原面上的南流古乌江也成为河谷深切的北流现代乌江。三峡贯通,涪陵—奉节的川江干流河段,河谷拓深、拓宽强烈,阶地难以发育保存,因此涪陵以下的川江两岸,主河阶地难以寻觅。涪陵—思南的乌江,发育于喀斯特山地,缺少硅酸盐岩层,加之河谷强烈下切,砾石层阶地也难以发育保存。新近纪末以来,龙门山与龙泉山断裂之间的四川盆地西部发生断陷,断陷盆地内沉积了大渡河和岷江输出的巨量泥沙,形成了现今的成都平原,第四系砂砾层最厚达约400 m。宜宾一带无第四纪断陷盆地发育,川江的输沙能力又强,因此金沙江汇

入川江的宜宾一带,未见断陷盆地沉积和大型堆积扇发育。

西部高原区。受青藏运动、昆黄运动和共和运动的驱动,西部高原隆升强烈,与东部四川盆地地势高差逐渐显现,加大。夹持于南北向纵向断裂间的断块,如川滇菱形断块,南移受阻,断块内部出现一些东西向扰曲软弱带。第四纪以来,气候转为湿润,河川径流剧增,四川盆地西部河流溯源侵蚀贯通夷平高原的古南北向水系,相邻的南北向河流被沿扰曲软弱带发育的东西向河流贯通,现代河流水系形成。由于河流比降和侵蚀能力陡增,河流强烈下切,深切河谷逐渐形成,两岸坡地大型滑坡阻河事件频繁发生。除安宁河等断陷谷盆地外,其他深切河谷的原新生代松散沉积物侵蚀殆尽,难以保存,基座阶地鲜见。早更新世后期或中更新世以来,横断山地隆升到冰冻圈高度,冰川出现,冰期河川径流量小,阻河滑坡坝体得以保存,形成堰塞湖,溃决后,沉积物成为堰塞湖阶地。间冰期,河川径流量大,阻河滑坡坝体不易保存,堰塞湖难以长期存在。南北向水系被东西向河流袭夺贯通,是由西向东逐渐发展的过程,水系东部的河流被袭夺东流较早,西部较晚。

金沙江、雅砻江、大渡河等河流溯源侵蚀的过程仍在继续进行,尚未影响到裂点以上青藏高原面上的河段。这些河段宽浅河谷内曲流蜿蜒,堆积或埋藏阶地广泛发育。

3 佐证三峡贯通时间的外学科证据

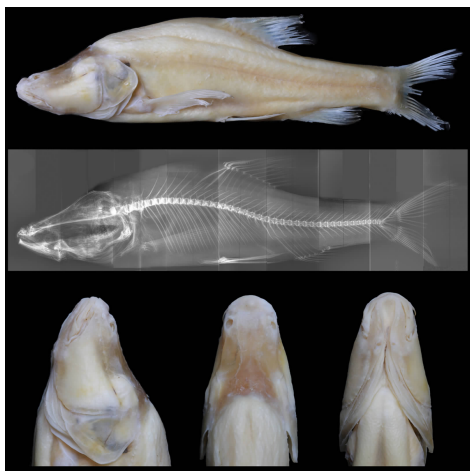
为了佐证三峡第四纪贯通,现介绍两个外学科证据。

3.1 三峡秭归的盲鱼

文献[46]根据在三峡秭归的长江发现的一种盲鱼(*Sinocyclocheilus sanxiaensis*),讨论了三峡贯通时间,认为这种分布于珠江流域的盲鱼(~0.55 Ma)出现在秭归附近的长江,是三峡形成的产物(图4)。当时珠江源头河流与乌江源头河流有地下河连通,个别盲鱼进入乌江,后三峡下切贯通,盲鱼出现在三峡秭归的长江。三峡贯通应发生于~0.55 Ma以后。

3.2 川中丘陵区与云南高原面紫色土的pH值

紫色土是紫红色岩层上发育的土壤。以四川盆地分布最广,在南方诸省盆地中零星分布,其发育程

图 4 盲鱼^[46]Fig. 4 *Sinocyclocheilus sanxiaensis* (modified by [46])

度较同地区的红、黄壤为迟缓,尚不具脱硅富铝化特征,属化学风化微弱的土壤,呈中性至微碱性反应, pH 值为 7.5~8.5^[47]。2021 年 4 月,应邀陪同山地所土壤室同事考察云南紫色土,笔者方知云南高原面上的紫色土多为酸性紫色土,如笔者在牟定采集的云南高原面丘坡上的紫色土(图 5a), pH 值为 4.7~5.1。牟定海拔 1750 m,年均温 15.8℃,年降水量 872 mm。回成都后,笔者去内江采集的川中丘陵区紫色土, pH 值为 7.63。紫色土采集于海拔 400 m 丘陵顶部高平原(最高阶地)砾石层下方的

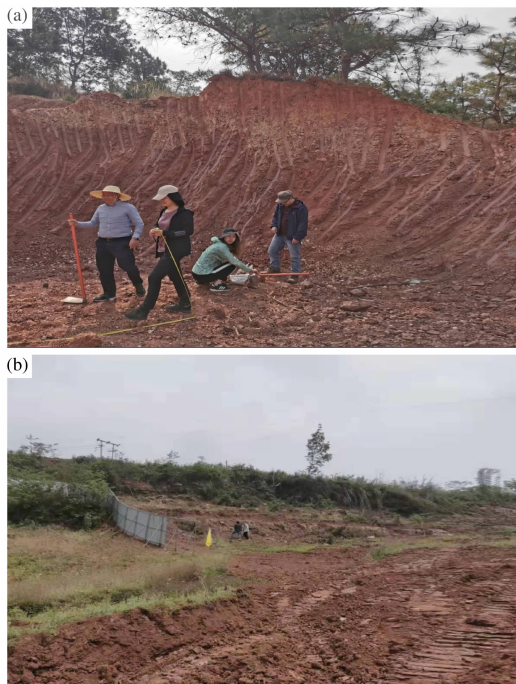


图 5 云南牟定(a)和四川内江(b)的紫色土采样坡地

Fig. 5 Purple soil sampling slopes in Mouding, Yunnan(a) and Neijiang(b), Sichuan

坡地(图 5b)。内江年均温 20℃,年降水量 1000 mm。川中丘陵区的紫色土是三峡贯通后,河流下切,中生代红层出露地表后风化形成的土壤。成土时间较短,为中性偏碱性土壤。云南高原面丘陵坡地的紫色土是新近纪以来长期风化形成的土壤,成土时间长,为酸性土壤。如新近纪时期三峡已经贯通,川中丘陵区的紫色土也应该是酸性土壤。

4 结语

新近纪以来,西藏地块向北运动受阻后,转而向东、向南推移、推挤,长江上游地区西部高原隆升强烈,与东部四川盆地地势高差逐渐显现;青藏高原的隆升又导致新近纪热带、亚热干热气候转型为季风湿润气候。在地貌和气候耦合变化的背景下,长江上游新近纪夷平面期水系演化为第四纪以来的现代河流水系。

新近纪的古长江。蒲扇状的川江水系是古长江的上游,乌江汇口的涪陵是古蒲扇状水系的“心”,川江、岷江、嘉陵江、沱江等扇面上的河流流向“扇心”涪陵,再沿“扇柄”乌江南流至思南附近东流,入沅江,汇入洞庭湖—长江。四川盆地以西的横断山地,当时为古夷平高原面。高原面的南北向古水系,河湖串连,南流入海。

第四纪以来的现代长江。三峡贯通大致发生于新近纪和第四纪之交,导致原经乌江南流的川江,袭夺东流,形成现代的长江。三峡贯通导致四川盆地内的川江及支流下切,四川盆地是稳定的地台,区内河流基座阶地连续稳定。盆地以西高原面上的南北向古水系被袭夺东流,由于山地隆升幅度大,和川江溯源侵蚀的缘故,金沙江、大渡河和岷江等河流河谷深切,岭谷高差大,易于发生大型滑坡阻河,形成堰塞湖,横断山地区河流河谷内堰塞湖阶地发育。金沙江等河流溯源侵蚀过程仍在继续进行,尚未影响到裂点以上的青藏高原面上河段,这些河段河谷内堆积或埋藏阶地广泛发育。

需指出的是,两期水系的转换时间不一定准确对应第三纪和第四纪的时间界限,也可能是上新世或早更新世;河流演化和水系格局空间变化的详细过程、原因也未完全明晰,有待进一步深入研究。

参考文献(References)

[1] 戴世昭. 江汉盐湖盆地石油地质[M]. 北京:石油工业出版社,

- 1997:57-93. [DAI Shizhao. Petroleum geology of Jiangnan saline basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997:57-93]
- [2] 郑洪波,王平,何梦颖,等. 长江东流水系建立的时限及其构造地貌意义[J]. 第四纪研究,2013,33(4):621-630. [ZHENG Hongbo, WANG Ping, HE Mengying, et al. Timing of the establishment of the east-flowing Yangtze River and tectonic-geomorphic implications [J]. Quaternary Sciences, 2013, 33(4): 621-630] DOI: 10.3969/j. issn. 1001-7410. 2013. 04. 01
- [3] 丁文江. 徐霞客游记[M]. 上海: 商务印书馆, 1928:1-50. [DING Wenjiang. The journey diaries of XU Xiake [M]. Shanghai: The Commercial Press, 1928:1-50]
- [4] 任美镔,包浩生,韩同春,等. 云南西北部金沙江河谷地貌与河流袭夺问题[J]. 地理学报, 1959, 25(2): 135-155. [REN Meie, BAO Haosheng, HAN Tongchun, et al. Geomorphology of the Yangtze River valley and its river capture in northwestern Yunnan [J]. Acta Geographica Sinica, 1959, 25(2): 135-155]
- [5] 苏怀,明庆忠,潘保田,等. 金沙江河谷——水系发育的年代学框架分析与探讨[J]. 山地学报, 2013, 31(6): 685-692. [SU Huai, MING Qingzhong, PAN Baotian, et al. The analysis and discussions on the chronological frame of Jinshajiang River valley drainage [J]. Mountain Research, 2013, 36(6): 685-692] DOI: 10.16089/j. cnki. 1008-2786. 2013. 06. 010
- [6] 沈玉昌,杨逸畴. 滇西金沙江袭夺问题的新探讨[J]. 地理学报, 1963, 29(2): 87-108. [SHEN Yuchang, YANG Yichou. New research on the problem of river-capture of Ching-Sha-Chiang (the Upper Yangtze), western Yunnan, China [J]. Acta Geographica Sinica, 1963, 29(2): 87-108]
- [7] 何浩生,何科昭,朱祥民,等. 滇西北金沙江河流袭夺的研究——兼与任美镔先生商榷[J]. 现代地质, 1989, 3(3): 319-330. [HE Haosheng, HE Kezhao, ZHU Xiangmin, et al. A discussion on the problem of river-capturing of the Jinshajiang River in northwest Yunnan [J]. Geoscience, 1989, 3(3): 319-330]
- [8] ZHENG Hongbo, CLIFT P D, WANG Ping, et al. Pre-miocene birth of the Yangtze River [J]. PNAS, 2013, 110(19): 7556-7561. DOI: 10.1073/pnas.1216241110
- [9] WEI Honghong, WANG Erchie, WU Guoli, et al. No sedimentary records indicating southerly flow of the paleo-Upper Yangtze River from the First Bend in southeastern Tibet [J]. Gondwana Research, 2016, 32:93-104. DOI: 10.1016/j. gr. 2015. 02. 006
- [10] 杨达源. 长江地貌过程[M]. 北京:地质出版社, 2006:1-315. [YANG Dayuan. Geomorphological processes of the Yangtze River [M]. Beijing: Geology Press, 2006:1-315]
- [11] 张信宝,刘彧,王世杰,等. 黄河、长江的形成演化及贯通时间[J]. 山地学报, 2018, 36(5): 661-668. [ZHANG Xinbao, LIU Yu, WANG Shijie, et al. On the chronology of the Yellow Rivers and the Yangtze Rivers [J]. Mountain Research, 2018, 36(5): 661-668] DOI: 10.16089/j. cnki. 1008-2786. 000362
- [12] 白毛伟,谢小平,陈芝聪. 川西龙门山前陆盆地晚新生代沉积记录与构造响应[J]. 地质学刊, 2016, 40(4): 640-645. [BAI Maowei, XIE Xiaoping, CHEN Zhicong. The Late Cenozoic sedimentary records and structural response of Longmenshan foreland basin in western Sichuan province [J]. Journal of Geology, 2016, 40(4): 640-645] DOI: 10.3969/j. issn. 1674-3636. 2016. 04. 640
- [13] KONG Ping, ZHENG Yong, FU Bihong. Cosmogenic nuclide burial ages and provenance of Late Cenozoic deposits in the Sichuan basin: Implications for Early Quaternary glaciations in east Tibet [J]. Quaternary Geochronology, 2011, 6(3-4): 304-312. DOI: 10.1016/j. quageo. 2011. 03. 006
- [14] 苟宗海,赵兵,李勇. 四川雅安地区早第三纪地层[J]. 地层学杂志, 1995, 19(2): 96-103. [GOU Zonghai, ZHAO Bing, LI Yong. Early Tertiary strata in Ya'an area, Sichuan [J]. Journal of Stratigraphy, 1995, 19(2): 96-103] DOI: 10.19839/j. cnki. dxxz. 1995. 02. 003
- [15] 朱海虹. 云南断陷湖泊的形成和晚新生代的沉积及其演化[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 509-516. [ZHU Haihong. Formation of fault lakes in Yunnan province, and its sediment and evolution in Late Cenozoic [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1991, 22(6): 509-516]
- [16] 马玉孝,刘家铎,王洪峰,等. 攀枝花地质[M]. 成都:四川科技出版社, 2001: 169-175. [MA Yuxiao, LIU Jiaduo, WANG Hongfeng, et al. Geology of the Pangzhihua region, Sichuan [M]. Chengdu: Science and Technique Publication House, 2001: 169-175]
- [17] 钱方,周国兴. 元谋第四纪地质与古人类[M]. 北京:科学出版社, 1991: 9-72. [QIAN Fang, ZHOU Guoxing. Quaternary geology and palaeoanthropology of Yuanmou, Yunnan, China [M]. Beijing: Science Press, 1991: 9-72]
- [18] 张永双,赵希涛,胡道功. 滇西北德钦地区金沙江奔子栏古堰塞湖的发现及意义[J]. 地质通报, 2007, 26(8): 970-975. [ZHANG Yongshuang, ZHAO Xitao, HU Daogong. An ancient landslide-dammed lake found in the Jinsha River valley near Benzilan, Deqen, Yunnan, China and its significance [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(8): 970-975]
- [19] 赵希涛,曲永新,张永双,等. 滇西北丽江地区石鼓古湖的发现及其在现代金沙江河谷发育中的意义[J]. 地质通报, 2007, 26(8): 960-969. [ZHAO Xitao, QU Yongxin, ZHANG Yongshuang, et al. Discovery of Shigu paleolake in the Lijiang area, north-western Yunnan, China and its significance for the development of the modern Jinsha River valley [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(8): 960-969]
- [20] 朱正峰,苏怀,董铭,等. 金沙江寨子村古堰塞湖沉积年代研究[J]. 第四纪研究, 2018, 38(1): 145-150. [ZHU Zhengfeng, SU Huai, DONG Ming, et al. The age of Zhaizicun ancient dammed lake sediments in Jinsha River [J]. Quaternary Sciences, 2018, 38(1): 145-150] DOI: 10.11928/j. issn. 1001-7410. 2018. 01. 12
- [21] 刘芬良. 晚新生代金沙江下游段地貌演化与河谷发育研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2018: 67-96. [LIU Fenliang. Geomorphological evolution and valley development of the lower Jinsha River during Late Cenozoic [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2018: 67-96]
- [22] 刘芬良,高红山,李宗盟,等. 金沙江巧家——蒙姑段的阶地发育与河谷地貌演化[J]. 地理学报, 2020, 75(5): 1095-1105.

- [LIU Fenliang, GAO Hongshan, LI Zongmeng, et al. Terraces development and their implications for valley evolution of the Jinsha River from Qiaojia to Menggu [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, **75**(5):1095–1105] DOI: 10.11821/dlxb202005015
- [23] 张信宝, HIGGITT D, 刘维明, 等. 金沙江下游金塘古滑坡堰塞湖阶地[J]. *山地学报*, 2013, **31**(1):127. [ZHANG Xinbao, HIGGITT D, LIU Weiming, et al. Terraces of ancient giant Jintang landslide-dammed lake in Jinsha River [J]. *Mountain Research*, 2013, **31**(1):127] DOI: 10.16089/j.cnki.1008–2786.2013.01.019
- [24] HIGGITT D, ZHANG Xinbao, LIU Weiming, et al. Giant paleo-landslide dammed the Yangtze river [J]. *Geoscience Letters*, 2014, **1**(1):6. DOI: 10.1186/2196–4092–1–6
- [25] 赵希涛, 吴中海, 冯玉勇, 等. 金沙江“长江第一湾”段河谷地貌、沉积与发育[J]. *地质通报*, 2015, **34**(1):83–103. [ZHAO Xitao, WU Zhonghai, FENG Yuyong, et al. Landscapes and sediments of the “Yangtze First Bend” valley along the Jinsha River and development of the valley [J]. *Geological Bulletin of China*, 2015, **34**(1):83–103]
- [26] 赵希涛, 张永双, 胡道功, 等. 云南丽江地区大具盆地早更新世金沙江砾石层的发现及其意义[J]. *地质通报*, 2006, **25**(12):1381–1386. [ZHAO Xitao, ZHANG Yongshuang, HU Daogong, et al. Discovery of early Pleistocene gravels of the Yangtze River in the Daju basin, Yunnan, China, and its significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, **25**(12):1381–1386]
- [27] 张信宝. 金沙江南流入红河的锆石 U-Pb 年龄谱物源示踪研究的质疑[J]. *山地学报*, 2019, **37**(4):471–474. [ZHANG Xinbao. Question of using the zircon U-Pb age technique for sediment tracing to study whether the ancient Jinsha River flew southward to joint Red River [J]. *Mountain Research*, 2019, **37**(4):471–474] DOI: 10.16089/j.cnki.1008–2786.000439
- [28] KONG Ping, GRANGER D E, WU Fuyuan, et al. Cosmogenic nuclide burial ages and provenance of the Xigeda paleo-lake: Implications for evolution of the middle Yangtze River [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2009, **278**(1/2):131–141. DOI: 10.1016/j.epsl.2008.12.003
- [29] 刘芬良, 高红山, 李宗盟, 等. 金沙江龙街段晚更新世以来的阶地发育与河谷地貌演化[J]. *地球科学进展*, 2020, **35**(4):431–440. [LIU Fenliang, GAO Hongshan, LI Zongmeng, et al. Terraces development and their implications for valley evolution of the Jinsha River since Late Pleistocene near Longjie, Yunnan [J]. *Advances in Earth Science*, 2020, **35**(4):431–440] DOI: 10.11867/j.issn.1001–8166.2020.039
- [30] 陶亚玲, 常宏, 强小科. 长江第一湾河段阶地特征及年代学研究[J]. *第四纪研究*, 2018, **38**(1):151–164. [TAO Yaling, CHANG Hong, QIANG Xiaoke. Terraces and their chorology features of the First Bend along the Changjiang River [J]. *Quaternary Sciences*, 2018, **38**(1):151–164] DOI: 10.11928/j.issn.1001–7410.2018.01.13
- [31] 胥勤勉, 杨达源, 葛兆帅, 等. 金沙江三堆子——乌东德河段阶地研究[J]. *地理科学*, 2006, **26**(5):609–615. [XU Qinmian, YANG Dayuan, GE Zhaoshuai, et al. Terraces along Sanduizi – Wudongde section of Jinsha River [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, **26**(5):609–615]
- [32] 钱方, 徐树金, 陈富斌, 等. 昔格达组磁性地层的研究[J]. *山地研究*, 1984, **2**(4):275–282. [QIAN Fang, XU Shujin, CHEN Fubin, et al. Study on the paleomagnetism of the Xigeda formation [J]. *Mountain Research*, 1984, **2**(4):275–282] DOI: 10.16089/j.cnki.1008–2786.1984.04.012
- [33] 陈富斌, 赵永涛. 攀西地区新构造[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989: 2–148. [CHEN Fubin, ZHAO Yongtao. Neotectonics in Panzhihua – Xichang Region [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technique Publication House, 1989: 2–148]
- [34] 张叶春, 李吉均, 朱俊杰, 等. 晚新生代金沙江形成时代与过程研究[J]. *云南地理环境研究*, 1998, **10**(2):43–48. [ZHANG Yechun, LI Jijun, ZHU Junjie, et al. Studies on development of Jinshajiang River during Late Cenozoic [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1998, **10**(2):43–48]
- [35] 胡传辉, 刘彧, 王世杰, 等. 金沙江堰塞湖细粒碎屑沉积物元素地球化学特征及其对河流演化的指示[J]. *地球与环境*, 2021, **49**(2):115–124. [HU Chuanhui, LIU Yu, WANG Shijie, et al. The elemental geochemistry of fine-grained sediments in dammed lakes of the Jinsha River and its indication to the river evolution [J]. *Earth and Environment*, 2021, **49**(2):115–124] DOI: 10.14050/j.cnki.1672–9250.2020.48.104
- [36] 张信宝, 文安邦, 张云奇, 等. 川中丘陵区小流域自然侵蚀速率的初步研究[J]. *水土保持学报*, 2006, **20**(1):1–5. [ZHANG Xinbao, WEN Anbang, ZHANG Yunqi, et al. Preliminary study on natural erosion rates in small watershed of Sichuan hilly basin [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, **20**(1):1–5] DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2006.01.001
- [37] 刘兴诗. 四川盆地的第四系[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1983: 2–156. [LIU Xingshi. Quaternary in Sichuan Basin [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1983: 2–156]
- [38] SUN Xilin, TIAN Yuntao, KUIPER K F, et al. No Yangtze River prior to the Late Miocene: Evidence from detrital muscovite and K–Feldspar $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology [J]. *Geophysical Research Letters*, 2021, **48**(5):e2020GL089903. DOI: 10.1029/2020GL089903
- [39] 周丽琴, 刘维明, 赖忠平, 等. 河流堰塞的地貌响应[J]. *第四纪研究*, 2019, **39**(2):366–380. [ZHOU Liqin, LIU Weiming, LAI Zhongping, et al. Geomorphologic response of river damming [J]. *Quaternary Sciences*, 2019, **39**(2):366–380] DOI: 10.11928/j.issn.1001–7410.2019.02.09
- [40] 王兰生, 王小群, 许向宁, 等. 岷江叠溪古堰塞湖的研究意义[J]. *第四纪研究*, 2012, **32**(5):998–1010. [WANG Lansheng, WANG Xiaoqun, XU Xiangning, et al. Significances of studying the Diexi Paleo-dammed lake at the upstream of Minjiang River, Sichuan, China [J]. *Quaternary Sciences*, 2012, **32**(5):998–1010] DOI: 10.3969/j.issn.1001.7410.2012.05.16
- [41] 刘维明, 周丽琴, 陈晓清, 等. 雅砻江流域河道高程剖面上的堰塞坝印记[J]. *地学前缘*, 2021, **28**(2):58. [LIU Weiming, ZHOU Liqin, CHEN Xiaoping, et al. Influence of natural dams on the river profile of the Yalong River Basin [J]. *Earth Science*

- Frontiers, 2021, **28**(2):58–70] DOI: 10.13745/j. esf. sf. 2020.9.1
- [42] 夏银珍, 刘维明, 赖忠平, 等. 大渡河石广东古滑坡堰塞湖沉积物光释光年代研究[J]. 地球环境学报, 2017, **8**(5):419–426. [XIA Yinzhen, LIU Weiming, LAI Zhongping, et al. Age of paleo-landslide-dammed lake at Shiguangdong in Dadu River [J]. Journal of Earth Environment, 2017, **8**(5):419–426] DOI: 10.7515/JEE201705005
- [43] 张信宝, 刘戬, 胡凯衡, 等. 金沙江折向东流的地质背景、古堰塞湖沉积、第四纪河流演化[J]. 山地学报, 2020, **38**(6):805–815. [ZHANG Xinbao, LIU Yu, HU Kaiheng, et al. Geological implication of the Jinsha River flowing eastward, ancient dammed lake deposition, and quaternary river evolution in China [J]. Mountain Research, 2020, **38**(6):805–816] DOI: 10.16089/j.cnki.1008–2786.000557
- [44] 施雅风. 第四纪中期青藏高原冰冻圈的演化及其与全球变化的联系[J]. 冰川冻土, 1998, **20**(3):197–208. [SHI Yafeng. Evolution of the cryosphere in the Tibetan Plateau, China, and its relationship with the global change in the Mid Quaternary [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1998, **20**(3):197–208]
- [45] 李吉均. 青藏高原隆升与晚新生代环境变化[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, **49**(2):154–159. [LI Jijun. Uplifting of Qingzhang Plateau and environment changes in Late Cenozoic [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2013, **49**(2):154–159] DOI: 10.13885/j. issn. 0455–2059. 2013. 02. 023
- [46] JIANG Wansheng, LI Jie, LEI Xiaozhong, et al. Sinocyclocheilus sanxiaensis, a new blind fish from the Three Gorges of Yangtze River provides insights into speciation of Chinese cavefish [J]. Zoological Research, 2019, **40**(6):552. DOI: 10.24272/j. issn. 2095–8137. 2019. 065
- [47] 中国科学院成都分院土壤研究室. 中国紫色土[M]. 北京: 科学出版社, 1991:2–340. [Soil Research Department of Chengdu Branch, Chinese Academy of Sciences [M]. Beijing: Science Press, 1991:2–340]

The Ancient Yangtze River versus the Young Three Gorges

ZHANG Xinbao^{1,2}, HU Kaiheng^{1*}, LIU Yu^{2,3}, ZHANG Qiyuan^{1,4}, LIU Weiming¹, WANG Shijie³

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Process, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Puding Karst Ecosystem Research Station, Chinese Academy of Sciences, Puding 562100, Guizhou, China; 3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550081, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The formation and evolution of the Yangtze River of China has long been a hot topic in geomorphology. In this study, it provided a speculation on water system evolution process of the Upper Yangtze River since Cenozoic Era based on a comparison of spatial distribution of different types of river terraces under a research context of tectonic-climatic-geomorphological coupling.

In Paleogene Period, endorheic lakes had been developing in faulted lake basins in the areas of the upper reaches of the Yangtze River, and the Yangtze River had not been formed yet. The ancient Yangtze River was formed in Neogene Period, when the present Chuanjiang River (the Sichuan reach of the Yangtze River) was the headwater of the ancient Yangtze River, flowing southward near Fuling, the confluence of Wujiang River, and merging into the middle reaches of the Yangtze River along the Wujiang River-the Yuanjiang River-the Dongting Lake. During this period, the Jinsha River (a name for the upstream of Yangtze River starting from Yushu, Qinghai Province to Yibin city, Sichuan province, China) flowed into sea in the south but did not flow into the Chuanjiang River in the east.

The penetration of Three Gorges to form a direct connection with the middle reaches of the Yangtze River occurred quite probably at the turn of Neogene and Quaternary (the young Three Gorges). During this period, the Chuanjiang River, which originally flowed along the south of Wujiang River, was seized and flowed eastward and the Chuanjiang River and its tributaries in Sichuan Basin incised downward the stable platform geology, forming a continuously and stably base terraces.

As the ancient water system with north-south orientation in the western plateau was seized to flow eastward, and rivers in the Hengduan Mountains, such as the Jinsha River, the Daduhe River and the Minjiang River incised

downward rapidly, the barrier lake (endorheic lakes, landslide dammed lakes, etc.) terraces were created extensively as consequences of fluvial incisions in deep valleys.

Although the upstream erosion processes of the Jinsha River and aforesaid rivers have been continuing, it has not touched the river reaches above the knickpoints of the Qinghai – Tibet Plateau, where landforms are depositional terrace-genesis or buried terrace-genesis. Blind fish (*Sinocyclocheilus sanxiaensis*, ~ 0.55 Ma) mostly distributed in the Pearl River basin to be found in the Yangtze River near Zigui, Hubei province of China and the significant difference of pH in purple soils between the Yunnan Plateau and Central Sichuan hilly area (the former is acidic but the latter is moderately alkaline) are strong evidences of the “young” Three Gorges.

Key words: the ancient Yangtze River; the “young” Three Gorges; the Jinsha River; the Chuanjiang River; landslide dammed lake terraces; base terraces.

编后:

长江发育和演变过程长期以来一直是地貌学界关注的热点。2018 年 10 月,《山地学报》36 卷第 5 期在“专家观点”栏目发表了张信宝先生的文章《黄河、长江的形成演化及贯通时间》^[1];2020 年 12 月,《山地学报》38 卷第 6 期在“专家观点”栏目发表了张先生的《金沙江折向东流的地质背景、古堰塞湖沉积、第四纪河流演化》^[2];张先生的最新成果《古老的长江,年轻的三峡》^[3]在本期“专家观点”栏目刊登。张先生的文章发表以来,引起了积极的学术反响,本刊编辑部不断收到作者来函来稿,对黄河、长江发育和演变过程进行了观点论证,本刊将陆续刊出来稿述评。

本期《古老的长江,年轻的三峡》在清样阶段,张先生提前送给专家同仁寻求意见,经先生同意,现将部分评论选录如下,以飨读者。

信宝:

看样子你这文章要发表,我再啰嗦几句。

(1)杨达源先生带领地貌教研室老师和多届学生从通天河起沿长江向下,系统作了地貌调查,并深入总结写出《长江地貌过程》,提出长江发育和演变过程。这是好多年前的事。关心长江发育的早就大有人在,故文章前言中应作此介绍。(2)文章中有古近纪夷平期、新近纪夷平期,有些地方出现第三纪夷平期,何意?(编者注:清样已经修订)(3)成都平原上有第四纪断陷盆地,断陷往往被理解拉张断陷,而它可能属压陷盆地。这盆地与文章关系不大,可去掉。(4)堰塞湖阶地这是我第一次听说,增长了知识,不过金沙江发育不是最重要的。(5)最重要的是川江—乌江—沅江—洞庭湖,这是你文中古长江的主体部分,你没有深入研究,只是几句话说过就过去了。你要证明早期乌江是由北向南流的(可从一系列河谷剖面上分析)。你还要证明乌江是和沅江连在一起的(找遗弃的古河道。还要分析川江—乌江—沅江这条大河与江汉—洞庭盆地发育沉积的相关性。如果没有资料证明这些,那川江—乌江—沅江—洞庭湖这条古长江的主干部分就存疑了。若果如此,你这篇文章的意义就不大了。你说呢?

参考文献

[1] 张信宝,刘彧,王世杰,刘维明,薛雯轩.黄河、长江的形成演化及贯通时间[J].山地学报,2018,36(5): 661–668.

[2] 张信宝,刘彧,胡凯衡,胡传辉,代彬,刘维明.金沙江折向东流的地质背景、古堰塞湖沉积、第四纪河流演化[J].山地学报,2020,38(6): 805–815.

[3] 张信宝,胡凯衡,刘彧,张启源,刘维明,王世杰.古老的长江,年轻的三峡[J].山地学报,2021,39(5): 611–620.