

# 雅砻江下游河流阶地发育与构造活动关联性的研究现状

植田紫

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2024年3月25日; 录用日期: 2024年5月9日; 发布日期: 2024年5月21日

## 摘要

雅砻江发源于青海省巴颜喀拉山南麓, 流域横跨中国地形一、二阶梯边界, 地质地貌形态丰富。雅砻江流域巨大的地形反差与区域的构造背景密切相关。雅砻江流域位于西南季风和高原季风的交汇地带, 季风带来大量的降水, 地表侵蚀作用强烈, 水系较为发育; 加之快速隆升的构造背景, 该区河流强烈下切, 下切幅度可达3000 m以上, 形成宏伟、壮观的高山峡谷地貌。河流阶地是一种典型的层状地貌, 其在研究新构造运动、古气候变化、古水系演化以及侵蚀基准面变化等方面具有不可替代的优势。在雅砻江河谷发育了较为完整的河流阶地序列, 阶地保存相对完整, 是研究河流阶地与构造运动和气候变化关系的极佳场所。

## 关键词

雅砻江, 河流阶地, 驱动力

# Research Status of Correlation between River Terrace Development and Tectonic Activity in the Lower Yalong River

Tianzi Zhi

College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Mar. 25<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 9<sup>th</sup>, 2024; published: May 21<sup>st</sup>, 2024

## Abstract

Originating from the southern foot of the Bayankala Mountains in Qinghai Province, the Yalong River basin spans the boundary of the first and second echelons of China's topography and is rich

in geological and geomorphologic forms. The great topographic contrast in the Yalong River Basin is closely related to the tectonic background of the region. The Yalong River basin is located at the intersection of the southwest monsoon and the plateau monsoon. The monsoon brings a lot of precipitation, the surface erosion is intense, and the water system is relatively developed. Coupled with the tectonic background of rapid uplift, the river in this area is strongly cut down, and the cut amplitude can reach more than 3000 m, forming a magnificent and spectacular mountain canyon landform. River terrace is a typical stratified landform, which has irreplaceable advantages in the study of neotectonic movement, paleoclimate change, paleo-water system evolution and erosion base level change. The Yalong River Valley has developed a relatively complete series of river terraces, and the terraces are relatively well preserved, which is an excellent place to study the relationship between river terraces and tectonic movement and climate change.

## Keywords

Yalong River, River Terrace, Driving Force

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

河流系统不但是陆地沉积循环的主要通道，同时也是塑造地貌形态重要的外营力，它能够对外部因素变化，如气候变化、构造抬升和基准面变化等做出积极而敏感的反应，并将这些变化信息记录到河流形态、河流沉积物以及所塑造的地貌之中。而河流阶地作为河流系统演化的产物，是这些河流档案中重要的组成部分，在理解河流地貌对气候变化和构造抬升响应机制方面拥有不可替代的优势[1]。因此，河流阶地研究对于揭示区域古环境变化信息有十分重要的意义。

雅砻江发源于青海省巴颜喀拉山南麓，流域横跨中国地形一、二阶梯边界，地质地貌形态丰富(图 1)。雅砻江沿着锦屏山西麓向北后呈回形针状南拐，流向发生了 180°大拐弯，长达 70~80 km，形成高山峡谷地貌[2]。前人研究认为可能是受到构造隆升、气候变化或是两者叠加因素的影响，是研究青藏高原东南缘区域构造与气候演化的有利场所[3]。目前国内外对河流阶地的成因开展了大量研究，普遍认为受到气候旋回影响致使河流下切形成阶地，也有许多学者认为构造活动的影响是形成河流阶地的主要原因[4] [5] [6]。因此本文以雅砻江下游河流阶地为研究对象，总结前人的研究成果，分析河流阶地发育与构造活动的关联性，并对未来的研究方向进行展望。

## 2. 早期研究

关于河流地貌发育过程响应气候变化的研究始于 20 世纪初的欧洲，该理论创始人 PENCK 开创性地把阿尔卑斯山前多瑙河的四级河流阶地与阿尔卑斯山地区的 4 次冰期对应起来，认为促使河流的下切行为过程发生在间冰期，而冰期则发生河流堆积[7] [8]。关于“冰期堆积，间冰期下切”的河流阶地发育模式可概括为：冰期时，植被覆盖度减小，冻融活动加强，进入河流的泥沙量大大增加并超过河流搬运能力，从而引起河流发生加积；间冰期时，山地植被恢复，河流沉积物通量减小，而降水量及冰川融水则呈增加的趋势，流水搬运能力逐渐超过被搬运物质的抵抗能力，最终引起河谷发生下切[9] [10]。有科学家在河流沉积物中发现属于冷期的动物群化石和冰川作用物质，从而推断河流堆积是发生在冰期的。随后 PENCK 的气候变化驱动河流阶地发育理论受到了很大的质疑[11]。

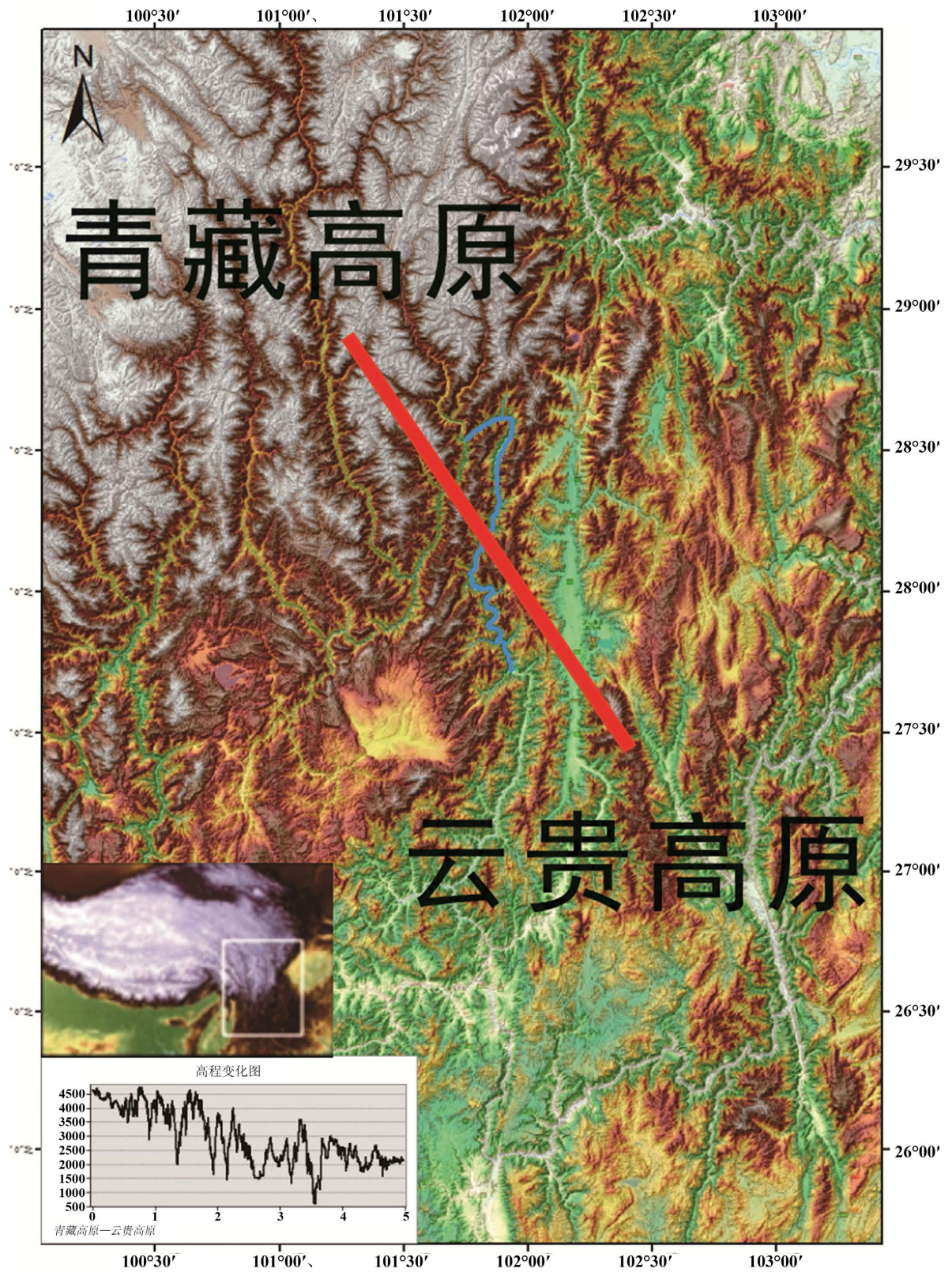


Figure 1. Geographical location of Yalong River  
图 1. 研究区地理位置

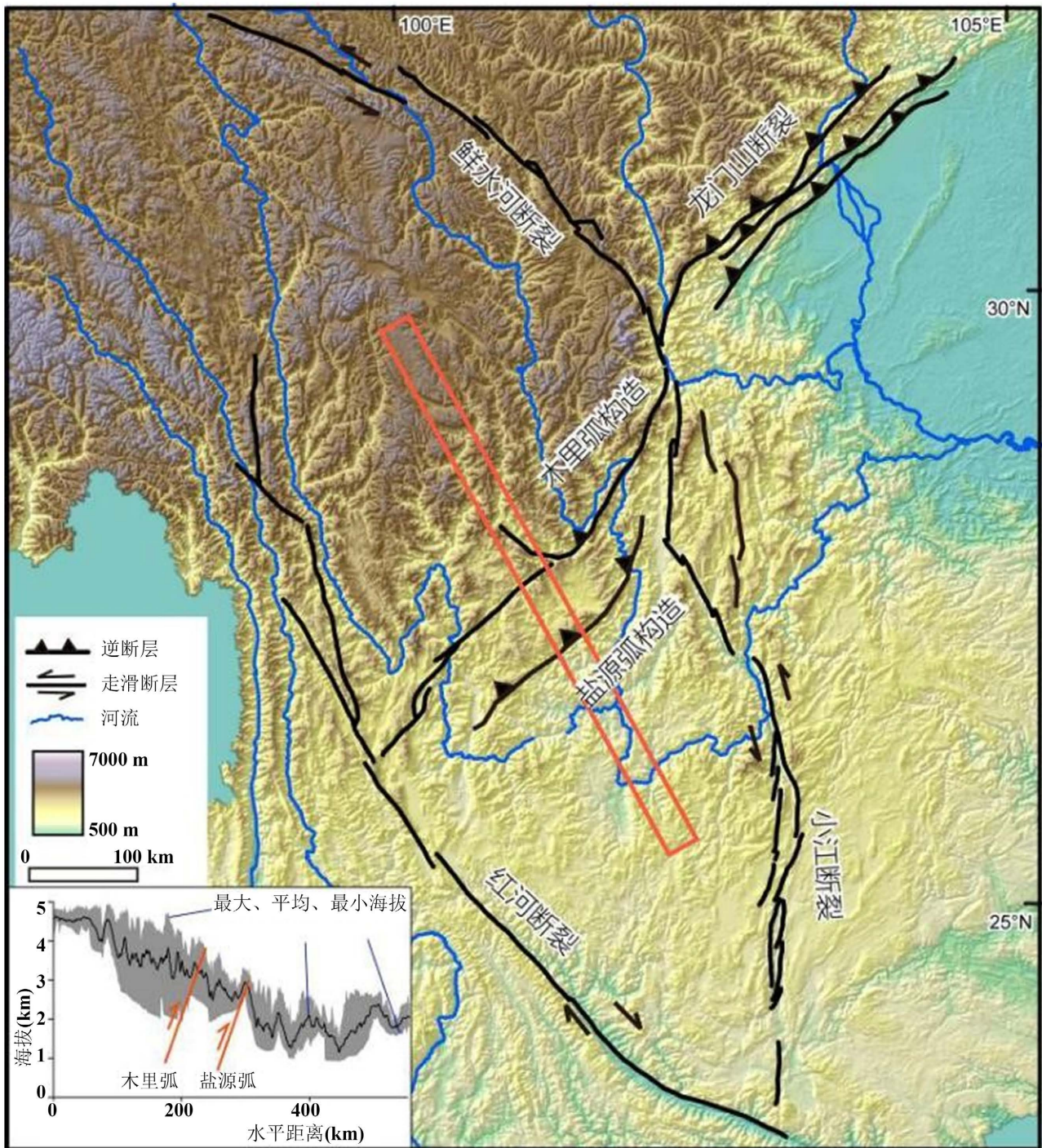
Maddy 根据英国泰晤士河中更新世河流阶地地质记录, 提出了新的河流阶地成因概念, 认为河流的堆积与下切是通过气候变化直接或间接控制的河流沉积物通量和径流量比率变化来实现的, 径流量和沉积物通量的变化又控制着河道的加积和下切。阶地都是在地质构造背景、基准面及其它驱动机制稳定的情形下, 主要由气候的冰期-间冰期变化形成的[12] [13]。自此, 关于河流阶地成因的争论一直在持续。LEOPOLD 和 BULL 提出了一个河流系统发育的自动循环模型; HACK 在此基础上提出了动力平衡理论; SCHUMM 认为河流系统内部的动力变化和反馈机制在河流地貌形成过程中具有重要影响。Zeuner 则认为近海的下游河段, 阶地形成过程主要受海平面波动控制, 而在远离海洋影响的内陆腹地, 气候变化则起了决定性作用[12]。由局部的构造抬升或沉降引起的基准面变化对河流的影响类似于海平面升降对河流产生的效应。构造成因的观点被引入河流阶地成因讨论中。单一气候变化对河流地貌发育的制约主要是通过改变径流量与沉积物通量的比率来影响河流的堆积与下切, 上述 Maddy 等人提出的河流地貌发育的气候驱动模式可以对它作出解释。但无法解释由多级阶地记录的河流逐步(或间歇性)下切过程[14]。国内学者对于青藏高原及其周边地区许多河流阶地的研究表明, 它们可能是受到构造运动影响而形成的。Maddy 的研究也表明英国南部河谷第四纪期间的逐步下切是河流系统对长时间的地表抬升响应的结果。实际上, 河流系统对地表构造抬升响应是一种很普遍的现象, 尤其是对于处在板块边缘、构造活动强烈的地区和区域构造活动较多的地区。

综上, 对于河流阶地成因观点出现几个不同讨论, 经分析总结可概括为三种模式: 第一种模式是冰期高频高幅的气候波动驱动河流下切, 这种模式可能适用于气候变化比较敏感的温带地区, 对冰期气候的快速波动能够作出迅速的响应。第二种模式是气候高频波动叠加地壳快速抬升驱动河流下切, 这种模式主要适用于快速隆升的造山带, 且冰期气候发生快速波动。第三种模式是海平面下降驱动河流下切, 这种模式适用于近海的平原地区或冰期出露的大陆架[15]。

### 3. 构造背景

中国科学院成都地理研究所编写的《雅砻江下游新构造研究报告》中, 以岩石地层、磁性地层、年代地层和生物地层相结合的方法, 对昔格达组进行系统研究, 以地层划分及沉积相的变化为基础, 来探讨研究区的新构造运动特征[16]。该研究成果论述了: 首次组建了川西南地区第四纪地层表、将新构造运动划分为五次, 确定李明久-桐子林断裂带为一强活动性断裂带。同时认为 329 万年左右时, 经过隆升剥蚀, 青藏高原东部已广泛发育夷平面, 对于新构造活动的模式, 认为雅砻江下游新构造主要特征是断块差异运动。早更新世末期的构造运动是新构造期的一次具有代表性的构造运动, 对早期的湖盆时期转变为河流时期的地貌的发育产生了重大影响。自此以后, 构造运动具有活动周期渐次缩短、活动频度加快、隆升速率增大的趋势, 表现出中更新世以来的构造运动的总趋势是朝着加强的方向发展。

钟大赉等人以东构造结为研究区, 通过对区内不同构造单元的岩相年龄测定和构造活动分析研究, 研究区历经 3 次抬升事件, 每个地体抬升时限和幅度不同[17]。研究认为晚上新世前, 青藏高原中部到川滇西部经过长期剥蚀充填形成夷平面; 约 5 Ma 开始, 青藏高原及其周缘开始整体抬升; 3 Ma 以后快速抬升; 晚上新世以来青藏高原的面貌是整体隆升和局部快速抬升相叠合。赵越等人通过对东构造结及其周缘的贡巴砾石层、扎达盆、川西地区的地貌分析及冰碛物年龄测定研究, 认为约 2.3 Ma 左右, 东构造结在早更新世中期抬升到冰冻圈高度, 即 3500 m 以上, 周缘如川西地区在中更新世早中期山体抬升到冰冻圈高度[18]。施雅风、赵井东等人对中国第四纪冰川演化序列的研究综述中提到, 0.7~1.1 Ma 昆(仑)黄(河)运动与距今约 0.15 Ma 的共和运动对中国青藏高原及其周缘隆升剥蚀意义重大。昆黄运动先是大面积的抬升, 后是突发性断块隆起与沉陷的构造运动[19] [20]。青藏高原由此上升到 3000 m 以上。相伴共和运动的地壳抬升, 青藏高原东缘多处山地抬升到冰川平衡线高度以上[21]。



**Figure 2.** The main structural framework of the Chuan-dian block and its adjacent areas

**图 2.** 川滇块体及邻区构造主体框架

综上前人成果所述，截至上新世早期，青藏高原及其周缘经历板块、地块的缓慢形变、抬升、剥蚀阶段，由湖盆、丘陵、山地演变而来；上新世中期，青藏高原广泛形成夷平面；上新世晚期，高原及其周缘受到印度板块、塔里木、华北以及扬子等“硬地块”的围限，高原及其周缘开始整体抬升，进入快速隆升阶段，雅砻江锦屏山段区域也大面积整体间歇性急速抬升。自西北而东南，抬升幅度从 3500 m 到

1500 m 不等, 此时广泛发育湖湘昔格达组, 标志夷平面解体; 昆仑 - 黄河运动造成突发性断块隆起和沉降的构造运动, 高原东南缘侧边界受到持续挤压、形变、快速隆升, 此次构造运动对地貌发育产生了重大影响, 由早期的湖盆时期转变为河流时期; 中更新世末期, 共和运动带来持续的地壳抬升, 高原东南缘多处山地抬升到冰川平衡线高度以上, 受周围断裂带控制, 川滇菱形块体形成, 菱形块体自中更新世以来, 仍保持较强的抬升运动, 致使河流下切、形成陡峭的谷坡和悬崖峭壁, 雅砻江此时形成 6 级阶地; 更新世晚期, 块体内部断裂活动变弱或停止, 次级块体之间的差异运动也变弱, 山体抬升速度减慢。这些研究结果表明青藏高原及其周缘快速隆升剥蚀的新构造运动在早期非常活跃, 间接表明这些阶次的构造运动与雅砻江一带的类夷平面有着直接的关联[22] [23] [24] [25]。

雅砻江锦屏山位于北羌塘 - 三江造山系和扬子准地台的结合部位, 锦屏山 - 小金河断裂带正是这两个一级构造单元的分界带组成部分[26] [27]。区内断裂与水系在位置和延伸方向上存在较好的一致性, 断裂对河流发育的控制作用明显[28] [29]。晚新生代以来, 受喜马拉雅运动的剧烈影响, 区域范围内地壳强烈抬升。其中川滇南北向构造带以西、锦屏山 - 玉龙雪山构造带以北地区抬升最为强烈, 现今海拔高度平均 4000 m 以上。在区域强烈抬升的同时, 由于断裂强烈活动, 还使其两侧的地壳块体之间具有明显的水平和垂直差异运动[30] [31]。总的趋势是, 由西北向东南, 块体抬升由强变弱, 明显表现为阶梯式下降。地貌上, 从西北向东南, 夷平面表现形式由丘状高原面递变为分割山顶面。川滇菱形块体及其内部断块边界带与该区域附近发育的多条断裂带形成一种叠加性构造, 局部差异运动更显著(图 2)。局部断块的差异运动及其所导致的地貌现象、地质活动与阶地形成的相关性的研究还有待深入。

#### 4. 构造成因的阶地发育特征

早期, 国外研究者首次将河流阶地的形成与冰期旋回相联系, 这之后, 更多国内外学者对这一观点进行相关研究并支持该观点[32] [33]。也有其他学者认为构造抬升才是驱动河流下切形成阶地的主要因素, 这一观点也得到了许多学者的支持。黄汲清认为“兰州式阶地”代表了地盘稳定上升条件下阶地有规律地出现在不同高度, 指示了阶地形成与新构造运动的相关性; 鹿化煜、潘家伟等人在西宁和阿什库勒的阶地研究也表明阶地形成与构造抬升有直接关系; 渭河和湟水的阶地研究也被认为是青藏高原周缘多次阶段性抬升的地貌证据[34]。

Starke 根据中欧地区河流阶地的研究结果给出了识别气候变化成因阶地的一些标志。例如, 各级阶地之间的高差应该较小, 砾石层属加积类型, 一般具有多个二元结构, 沉积砾石中多见坡积物与砾石层交错互层, 阶地的底部经常是倾斜状的, 偶尔发生的构造运动也不会影响阶地的结构, 由于河流下切作用难以切穿阶地沉积物使基岩出露, 因此一般形成堆积阶地。河流阶地的构造成因模式认为, 构造的间歇性升降运动控制了河流阶地的形成。在构造相对稳定期, 河流以侧蚀和堆积为主, 将河床拓宽。在构造快速抬升期, 河流下切, 将被拓宽的河床废弃形成河流阶地。构造间歇性的升降运动, 使得河流发生多次侧蚀和下切, 就会在河谷两岸形成一系列阶梯式的河流阶地[35]。因此, 基于河流阶地的构造成因模式, 河流阶地序列反应的是间歇性的构造抬升事件。可概括为, 各级阶地与第四纪期间河流所在流域的构造抬升幕次对应, 或指示第四纪时期地面的间歇性构造抬升; 地面的构造稳定导致河流沉积物的堆积, 构造抬升致使河流发生下切(图 3)。

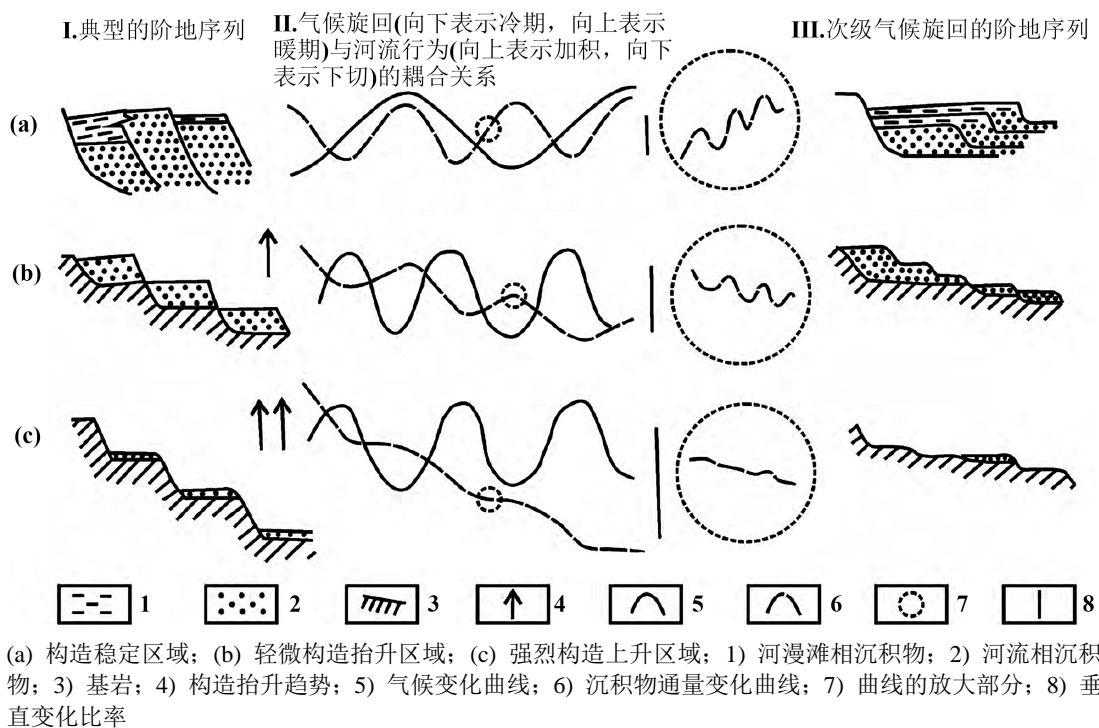
很多学者发现了构造控制河流阶地形成的证据。在英格兰南部, Maddy 对 Upper Thames 的河流阶地进行模拟, 认为这些阶地的形成无法与气候变化关联, 是构造作用控制了这些阶地的形成[36]。在青藏高原东北缘, 潘保田等通过研究祁连山北麓沙沟河的阶地结构和年龄发现, 沙沟河阶地的下切主要发生在古土壤发育时期(温暖湿润的间冰期), 因为间冰期侵蚀基准面上升河流应该发生堆积, 同时考虑到沙沟河阶地的特征以及阶地的基座高差等, 认为沙沟河阶地的形成受控于间歇性的构造抬升。在青藏高原东缘

的龙门山,汶川 8.0 级大地震造成沱江小支流的河床被废弃并形成高~3.68 m 的地震阶地。在准噶尔盆地中的独山子背斜区,杨晓平等、李有利等与 Wei et al.通过限定背斜区河流阶地的年龄,并将其与古地震事件发生的时间进行对比,认为独山子背斜发生的古地震控制了独山子背斜区河流阶地的形成[12]。

此外,前人对青藏高原东南缘河流阶地研究时发现,各级阶地之间的高差大,多为基座阶地,砾石层堆积少或无砾石层堆积,偶见有单个的二元结构等,是典型的因构造运动而形成的阶地特征。如大渡河中下游发育六级阶地,T3、T4、T6 均为基座阶地,T5 为侵蚀阶地,阶地高差在 100 m~255 m 不等,只有局部发育 T1、T2 级阶地为堆积阶地,说明气候变化在一定程度上也影响到了阶地的形成,但却不是主导因素。支流青衣江、岷江杂谷脑河及岷江下游阶地主要为基座阶地,阶地形态表现为由下游向上游辐散的特征,阶地高差相对较大,有的阶地间极差达 100 m,这也是典型的由于构造抬升所形成阶地的特征[37]。

### 5. 雅砻江锦屏山流域阶地发育特征

对雅砻江下游河流阶地的研究调查发现,雅砻江下游河段跨越了不同的地貌类型,各段河谷阶地变化非常大,总体来讲不同的地貌类型上阶地的发育特征不同。雅砻江北段为锦屏山高山峡谷区,河谷与山地高差可达 2000 m 以上,在这段河谷雅砻江发育了 8 级河流阶地,且多为基座阶地,砾石层保存不好,各级阶地之间的高差也相对较大。雅砻江的南段虽然也位于高山峡谷区,但是山地与河谷之间的高差较北段相对较小,主要发育了 6 级河流阶地[38] [39]。



**Figure 3.** Response models of rivers to climatic cycles in tectonically-uplifted mountainous areas [11]

**图 3.** 在构造抬升山地地区河流对气候变化旋回的响应模式[11]

高漫滩普遍沿江两岸分布,二元结构清晰,底部松散卵砾层,上部砂层、粉砂层,偶夹粘土。T1 阶地为堆积阶地,但不发育,主要分布在雅砻江两侧坡度较缓的沟口附近,冲积物为砂砾石层,松散半胶结状,具交错层,表层为碎石层。T2 阶地为基座阶地,往往沿雅砻江两侧坡度较陡的支沟沟口分布,局

部可见二元结构沉积,阶地上发育砾石层、粉砂及砂砾层,表层为角砾石及坡积洪积壤土碎石。T3阶地为基座阶地,很不发育,主要沿雅砻江两侧规模较大的支沟沟口堆积,上部往往叠置有坡洪积或滑坡堆积,上部为砂质层,一般呈透镜体,中部砂土碎石层,下部砂砾石层。T4阶地为基座阶地,雅砻江下游内最为发育,阶面相对也较宽。T5阶地为基座阶地,沿锦屏山山麓稍有分布,顶部为坡洪积砾块,已经钙质胶结。T6阶地为基座阶地,主要沿锦屏山基岩山麓一些较大的冲沟沟口分布,以钙质胶结的巨砾为主,属雅砻江沿岸保存下来的可能是最早期冲积层。

以雅砻江锦屏山段流域为主要对象,结合前人关于雅砻江下游及安宁河河流阶地研究可发现:T1-T2级阶地为堆积阶地,阶地高差在10 m~20 m,发育二元结构,砾石层多层加积,且沉积砾石中多见坡积物与砾石层交错互层,层理产状靠近基岩和底部较陡达15°,到中上部近于水平,阶地的底部多见倾斜状。高级阶地为基座阶地,阶地高差在100 m及以上,基本无砾石层堆积。综上可见,雅砻江下游河流阶地中,低级阶地具备气候变化成因阶地的一些标志,高级阶地则具备构造成因模式特征。因此可将雅砻江下游河流阶地成因归类讨论。

第四纪以来构造活动频繁且强烈,并且在第四纪期间,冰期-间冰期及更小时间尺度的气候旋回频繁,全新世以前,青藏高原东南缘构造活跃,是雅砻江高级河流阶地的形成的主要驱动力,全新世以来,构造运动渐缓,气候成因驱动河流低级阶地堆积形成,更符合气候-构造驱动模式理论(图)[40]。雅砻江下游河流阶地的形成是气候变化和构造抬升共同作用的结果,构造抬升为河流的持续下切提供驱动力,冰期-间冰期的气候旋回控制河流堆积-下切行为方式的转换。

## 6. 结论

雅砻江下游主要发育六级河流阶地,且多为基座阶地,各级阶地之间的高差相对较大,不同的地貌类型上阶地的发育特征不同。基于前人研究的基础,可认为雅砻江下游河流阶地成因与气候变化和构造活动均有关系。从青藏高原东南缘的地质构造背景和第四纪气候变化背景来看,雅砻江下游河流阶地成因更符合气候-构造驱动模式理论,构造原因是雅砻江高级河流阶地的形成的主要驱动力。

## 参考文献

- [1] 胡春生. 河流阶地研究进展综述[J]. 地球环境学报, 2014, 5(5): 353-362.
- [2] 姜胜凡. 雅砻江堰塞事件的地貌响应[D]: [硕士学位论文]. 西宁: 青海师范大学, 2021.
- [3] 李吉均方. 青藏高原隆起与环境变化研究[J]. 科学通报, 1998, 43(15): 1569-1574.
- [4] Geography P B G H W G L J D O, University L, Lanzhou, etc. (2004) The Development of Terraces in Qilianshan Mountains and the Uplift of the Tibetan Plateau. *The 4th International Academic Symposium on the Qinghai Tibet Plateau*, Lhasa.
- [5] Cheng, J.W. (2011) Evolution of Terraces I-III along the Anning River, Western Sichuan, Based on Pollen Records and Terrace Structure. *Science China Earth Sciences*, **54**, 127-135. <https://doi.org/10.1007/s11430-010-4067-z>
- [6] Pang, L.C. Lu, H.H., Lü, Y.W., et al. (2022) <sup>10</sup>Be Dating of the Kuitun River Terraces in the Northern Chinese Tian Shan Foreland: Insights into Fluvial Evolution and Tectonic Shortening Pattern. *Geomorphology*, **412**, Article ID: 108317. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108317>
- [7] Joshi, M., Thakur, V.C., Suresh, N. and Sundriyal, Y.P. (2022) Climate-Tectonic Imprints on the Late Quaternary Ravi River Valley Terraces of the Chamba Region in the NW Himalaya. *Journal of Asian Earth Sciences*, **223**, Article ID: 104990. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104990>
- [8] Filho, A.P., Moreira, V.B., Lämmle, L., et al. (2022) Genesis and Distribution of Low Fluvial Terraces Formed by Holocene Climate Pulses in Brazil. *Water*, **14**, Article No. 2977. <https://doi.org/10.3390/w14192977>
- [9] Bartyik, T., Urdea, P., Kiss, T., et al. (2023) The Role of Past Climatic Variability in Fluvial Terrace Formation, a Case Study from River Mureş (Maros), Romania. *Quaternary*, **6**, Article No. 35. <https://doi.org/10.3390/quat6020035>
- [10] Gabriella, F.M., Franco, G. and Umberto, S. (2022) Geomorphology of the Po Fluvial Terraces in Turin Deduced by



- New Subsoil Data (NW Italy). *Water*, **14**, Article No. 2872. <https://doi.org/10.3390/w14182872>
- [11] 丁莹莹, 张绪教, 何泽新, 等. 末次冰期河流下切行为对气候变化的响应模式[J]. 现代地质, 2017, 31(2): 394-405.
- [12] 苏鹏. 多尺度地貌面形成过程与构造作用[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2019.
- [13] Giulia, I., Daniela, P. and Francesco, T. (2022) Enhancing the Identification and Mapping of Fluvial Terraces Combining Geomorphological Field Survey with Land-Surface Quantitative Analysis. *Geosciences*, **12**, 425-425. <https://doi.org/10.3390/geosciences12110425>
- [14] Hua, G.X., Steven, F., Yuan, W.Y., et al. (2023) Tectonic and Climatic Controls for Fluvial Terraces of the Yellow River over the past 2.6 Ma at Northeast Tibetan Plateau and Ordos Block. *Journal of Mountain Science*, **20**, 2164-2180. <https://doi.org/10.1007/s11629-023-7909-9>
- [15] 田晴映, 郑文俊, 张冬丽, 等. 构造活动和气候变化对河流阶地发育的影响——以祁连山北缘洪水坝河和马营河为例[J]. 地震地质, 2017, 39(6): 1283-1296.
- [16] 华北国土资源. 雅砻江流域河谷区调查研究取得新认识[J]. 华北国土资源, 2014(2): 32.
- [17] 钟大赉丁. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1996, 26(4): 289-295.
- [18] 赵越, 钱方, 朱大岗, 等. 青藏高原第四纪冰川的早期记录及其构造与气候含义[J]. 中国地质, 2009, 36(6): 1195-1207.
- [19] 赵井东, 施雅风, 王杰. 中国第四纪冰川演化序列与 MIS 对比研究的新进展[J]. 地理学报, 2011, 66(7): 867-884.
- [20] 李吉均. 青藏高原的地貌演化与亚洲季风[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(1): 7-17.
- [21] 施雅风, 赵井东. 40~30kaBP 中国特殊暖湿气候与环境的发现与研究过程的回顾[J]. 冰川冻土, 2009, 31(1): 1-10.
- [22] 蔡志慧, 许志琴, 段向东, 等. 青藏高原东南缘滇西早古生代早期造山事件[J]. 岩石学报, 2013, 29(6): 2123-2140.
- [23] 李勇侯, 司光影, A.L. Densmore, 周荣军, M.A. Ellis, 李永昭, 梁兴中. 青藏高原东缘新生代构造层序与构造事件[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 30-36.
- [24] 王苏, 徐晓雅, 胡家富. 青藏高原东南缘的地壳结构与动力学模式研究综述[J]. 地球物理学报, 2015, 58(11): 4235-4253.
- [25] 王学湖, 刘振红, 石守亮, 杨威, 赵自强. 南水北调西线工程雅砻江调水区横向构造的地质特征及成因机制[J]. 华北水利水电学院学报, 1999, 20(2): 31-36.
- [26] 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2002, 32(12): 1020-1030+1057.
- [27] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-16+255+217-228.
- [28] 梁明剑, 陈立春, 冉勇康, 等. 鲜水河断裂带雅拉河段晚第四纪活动性[J]. 地震地质, 2020, 42(2): 513-525.
- [29] 刘晓霞, 邵志刚. 丽江-小金河断裂带现今断层运动特征[J]. 地球物理学报, 2020, 63(3): 1117-1126.
- [30] 陶亚玲. 青藏高原东缘雅砻江逆冲带新生代隆升剥露及其对高原扩展的启示[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2021.
- [31] 唐若龙. 龙门山-大雪山-锦屏山推覆构造带特征[J]. 四川地质学报, 1991(1): 1-9.
- [32] Li, Z.H., Chen, J.P., Shan, Z.G., et al. (2023) Quantifying the Late Quaternary Incision Rate in the Upper Jinsha River with Dated Fluvial Terraces and Transient Tributary Profiles. *Catena*, **232**, Article ID: 107446. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107446>
- [33] Tian, Y.-C., et al. (2023) Late Quaternary Fluvial Terrace Formation in the Luan River Drainage Basin, North China and Its Possible Linkages with Climate Change and Tectonic Activation. *China Geology*, **6**, 395-408. <https://doi.org/10.31035/cg2022075>
- [34] 鲍淑燕. 雅砻江下游河流阶地研究及其新构造运动意义[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- [35] 程建武. 川西安宁河断裂带晚第四纪地层地貌序列和构造活动性研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2010.
- [36] Yorke, L., Chiverrell, R.C. and Schwenninger, J.-L. (2024) Lateglacial and Early Holocene Evolution of the Tyne Valley in Response to Climatic Shifts and Possible Paraglacial Landscape Legacies. *Geomorphology*, **446**, Article ID: 109007. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.109007>
- [37] 张俊宇. 大渡河中下游河流阶地序列及其对山体隆升的响应[D]: [硕士学位论文]. 大连: 辽宁师范大学, 2018.

- [38] 郭坚. 雅砻江锦屏二级水电站局地气候影响分析[J]. 水力发电, 2008, 34(8): 1-3+7.
- [39] 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]. 地学前沿, 2021, 28(2): 58-70.
- [40] 吴南, 张珂, 管晓祥, 等. 1979-2018年雅砻江中上游积雪时空变化及影响因素分析[J]. 水资源保护, 2022, 38(5): 151-158.