

引用格式:何成邦,胡春生,田景梅,赵婷婷.大别山东南缘河流裂点成因及其地貌演化意义[J].山地学报,2023,41(3):322-334.

HE Chengbang, HU Chunsheng, TIAN Jingmei, ZHAO Tingting. Origin and geomorphological evolution of river knickpoints in the southeast edge of the Dabie Mountains, China [J]. Mountain Research, 2023, 41(3): 322-334.

大别山东南缘河流裂点成因及其地貌演化意义

何成邦^{1,2}, 胡春生^{1,2*}, 田景梅^{1,2}, 赵婷婷^{1,2}

(1. 安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241002; 2. 江淮流域地表过程与区域响应安徽省重点实验室, 安徽 芜湖 241002)

摘 要: 河流裂点形态特征蕴含了区域河流演化的历史信息,是认识区域地貌演化、构造运动、气候变化及人类活动潜在相互作用机制的切入点。以往裂点成因研究多选择在河流演化控制因素比较典型的地区,成因分析方法也相对单一。本文以河流演化环境复杂的大别山东南缘为研究区,基于标准陡峭指数、面积高程积分、坡度-面积双对数法和降水侵蚀力等探讨区域河流裂点形成原因。研究表明:(1)研究区5条河流干流纵剖面均处于不平衡状态,发育68个裂点。(2)研究区裂点发育受到构造活动、岩性、降水等多种因素影响。构造运动特别是郯庐断裂带等的断层活动是区域裂点发育的主导因素,共形成45个裂点,超过裂点总数的65%。(3)研究区地貌演化受到构造运动影响,区域断层活动显著,并且构造运动活跃性存在差异,山地区域构造运动活跃性高于山前盆地,西南区域构造运动活跃性高于东北区域。本研究可为复杂区域河流演化研究提供借鉴,并从新的视角进一步了解大别山地区地貌演化过程。

关键词: 河流裂点;成因;构造运动;大别山

中图分类号: P333

文献标志码: A

河流形态演化与构造运动、岩性差异、气候变化、海平面升降、冰川作用等内、外营力作用之间存在密切联系,演化过程记录了区域内、外营力活动的历史信息^[1-4]。裂点作为河流形态变化形成的典型地貌特征^[5],是蕴含上述信息的重要载体,其成因分析可以反映区域河流演化影响因素历史,作为进一步认识区域构造运动、气候变化、人类活动与地貌演化潜在相互作用的适宜手段。

河流裂点成因研究受到学者们的广泛关注,前人探讨了青藏高原东北缘等区域的构造运动^[6-8]、印尼松巴岛海岸地带等区域^[9-11]的气候变化、岷江

上游等区域^[12-13]的古冰川活动对河流裂点发育的制约作用。上述研究分别涉及构造运动活跃、降水显著和冰川广泛发育的多种典型河流演化环境地区,为推动河流演化环境典型区域裂点成因分析,探讨不同控制因素对河流裂点发育的影响研究提供了依据,但是仍存在以下不足:在研究区域上,上述研究具有一定地域性,研究区域河流演化环境比较典型,裂点发育主导控制因素较为明显,河流演化环境更加复杂、受到多种控制因素显著影响的区域裂点发育特征研究相对薄弱;在研究方法上,主要采用地貌指数及实地调查^[8-13]构建裂点与区域构造运动

收稿日期(Received date): 2022-07-14; 改回日期(Accepted date): 2023-05-08

基金项目(Foundation item): 安徽省自然科学基金面上项目(2108085MD127)。[Provincial General Program of Natural Science Foundation of Anhui Province (2108085MD127)]

作者简介(Biography): 何成邦(1994-),男,安徽蚌埠人,硕士研究生,主要研究方向:河流地貌、河流演化与第四纪环境。[HE Chengbang (1994-), male, born in Bengbu, Anhui province, M. Sc. candidate, research on fluvial geomorphology, river evolution and quaternary environment] E-mail: 1355676419@qq.com

* 通讯作者(Corresponding author): 胡春生(1978-),男,安徽无为,博士,副教授,主要研究方向:河流地貌、河流演化与第四纪环境。[HU Chunsheng (1978-), male, born in Wuwei, Anhui province, Ph. D., associate professor, specialized in fluvial geomorphology, river evolution and quaternary environment] E-mail: huchsh03@ahnu.edu.cn

强度、气候变化周期、地形起伏度的对应关系,着重分析主导控制因素对裂点发育的影响,对于其他控制因素,通常不予考虑或仅进行简单地定性分析,采用的对应分析方法存在一定不足,难以满足复杂河流演化环境的裂点成因探究需要。

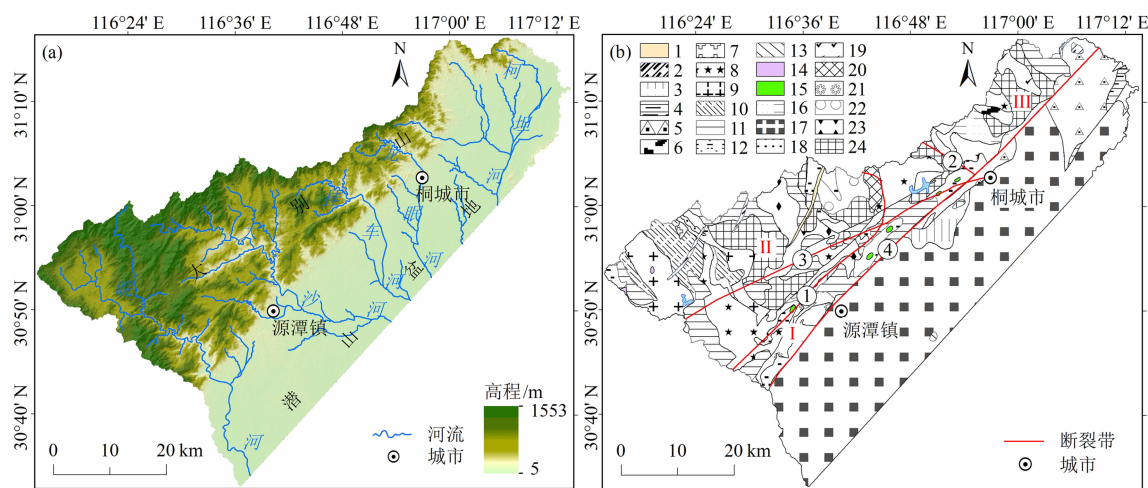
大别山位于秦岭—大别造山带最东端,暖温带与亚热带的交界地带,是中国东部地区重要地貌单元,地质构造复杂,降水时空分布差异显著,人类活动强度较高,具有复杂河流演化环境。作为地貌演化研究的热点地区,已有研究基于矿物化学组成^[14-15]、岩石冷却速率^[16-17]、地震波探测与重力场分布^[18-19]等多种手段探究大别山的地貌演化过程,而以数据获取相对便捷、成本较低,并能较为准确反映区域地貌演化过程的河流形态特征作为切入点的相关研究缺乏。

本文基于 12.5 m 空间分辨率 DEM,利用标准陡峭指数(Standard Steepness Index, k_{sn})、面积高程积分(Hypsometric Integral, HI)、坡度(Slope, S)—面积(Area, A)双对数法、降水侵蚀力等多种方法分析大别山东南缘河流干流裂点成因,为探究复杂环境河流演化提供案例参考,从新的视角进一

步认识大别山东南缘乃至整个大别山地区的地貌演化过程。

1 研究区域

大别山东南缘位于安徽省西南部($30^{\circ}30' \sim 31^{\circ}20'N$ 、 $116^{\circ}15' \sim 117^{\circ}15'E$),秦岭—大别造山带最东端,南北约 85 km、东西约 95 km,临近自然地理分界线,属北亚热带季风气候,降水丰沛,年均降水量达到 1000 mm 以上^[20],发育皖河、大沙河、龙眠河等多条 NW—SE 向中小山地河流(图 1a)。区域平均海拔约 242 m,山地区域平均海拔约 427 m,地形起伏明显,发育多条断层,东南部被我国东部最大断裂带——郯庐断裂带深切,山麓线极为挺直。以水吼—英山韧性剪切带、晓天—磨子潭断裂带为界,研究区域自南向北跨越南大别超高压变质岩带、北大别变质杂岩带和北淮阳变质岩带^[21],地质构造多样,包括燕山构造层、加里东构造层、庐镇关构造层等,高压—超高压岩带大量出露^[22](图 1b),为复杂河流演化环境的裂点发育研究提供有利条件。



①水吼—英山韧性剪切带;②晓天—磨子潭断裂带;③岳西—桐城断裂带;④郯庐断裂带;Ⅰ南大别超高压变质岩带;Ⅱ北大别变质杂岩带;Ⅲ北淮阳变质岩带;1. 花岗斑岩;2. 正长斑岩;3. 燕山构造层;4. 加里东构造层;5. 燕山期中性火山岩类;6. 庐镇关构造层;7. 晋宁期花岗岩;8. 晋宁期二长花岗岩;9. 石英二长斑岩;10. 晋宁期石英二长岩;11. 燕山期二长花岗岩;12. 大别—阚集构造层;13. 喜山期超基性岩类;14. 角闪岩;15. 榴辉岩;16. 燕山期花岗闪长岩;17. 喜马拉雅构造层;18. 石英闪长岩;19. 燕山期石英闪长斑岩;20. 燕山期假白榴石斑岩;21. 晋宁期斜长花岗岩;22. 晋宁期花岗闪长岩;23. 燕山期花岗岩;24. 燕山期石英斑岩

图1 大别山东南缘概况:(a) 区域地貌与水系;(b) 区域地质与岩性(据文献[23]修改)

Fig. 1 Overview of the southeast edge of the Dabie Mountains, China;

(a) regional landform and drainage; (b) regional geology and lithology (revised from Reference [23])

2 研究方法 with 数据

2.1 研究方法

2.1.1 k_{sn}

构造抬升强烈地区基岩河道的河道坡度和汇水面积具有幂函数关系^[24-25]:

$$S = k_s A^{-\theta} \quad (1)$$

式中, S 为河道坡度($^{\circ}$); k_s 为河道的陡峭指数($m^{0.9}$); A 为汇水面积(m^2); θ 为河道的凹度指数。 θ 受侵蚀过程、岩性等因素影响具有区域差异,取值一般为 0.35~0.65,当 $\theta=0.45$ 时, θ 被称为参考凹度指数,用 θ_{ref} 表示^[24,26-28]。将 θ_{ref} 代入式(1),可以得到:

$$k_{sn} = S/A^{-\theta_{ref}} \quad (2)$$

式中, k_{sn} 为河道的标准陡峭指数($m^{0.9}$)。 k_{sn} 数值大小与构造抬升速率和侵蚀系数有关,可以反映区域构造运动相对强度,数值越高表明区域构造运动相对越活跃^[6,29]。

2.1.2 HI

HI 可以定量反映区域河流地貌发育阶段和侵蚀作用强度,计算公式如下^[30]:

$$HI = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min}) \quad (3)$$

式中, H_{mean} 为流域平均高程(m); H_{max} 为流域最大高程(m); H_{min} 为流域最小高程(m)。 HI 通常被划分为 3 个级别: $HI \leq 0.35$, 表明区域构造运动不活跃,地貌发育处于老年期,侵蚀作用弱; $0.35 < HI \leq 0.60$, 表明区域构造运动适中,地貌发育处于壮年期,侵蚀作用明显; $HI > 0.60$, 表明区域构造运动显著,地貌发育处于幼年期,侵蚀作用强烈^[31-33]。

2.1.3 $S-A$ 双对数法

式(2)经过对数变换可得:

$$\log S = -\theta_{ref} \log A + \log k_{sn} \quad (4)$$

以 $\log A$ 和 $\log S$ 分别作为横、纵坐标可以绘制 $S-A$ 双对数散点图,图中散点分布特征可以用来识别垂阶型裂点,该型裂点通常由岩性差异产生,分布在岩性分界线、密集节理处,一般不发生溯源迁移。若图中散点呈现垂向长钉状分布特征,则散点位置可能存在垂阶型裂点^[12,34]。

2.1.4 降水侵蚀力

降水侵蚀力是衡量土壤侵蚀程度的重要指标,可以反映降水对区域地表的侵蚀强度,降水侵蚀力

的计算公式随着区域不同有所区别。本文采用针对大别山地区的降水侵蚀力简化方法计算裂点区域降水年侵蚀力,公式如下^[35]:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 0.179 P_i^{1.5682} \quad (5)$$

式中, R 为降水年侵蚀力($J \cdot cm \cdot ha^{-1}$); P_i 为月降水量(mm)。 R 值越高,表明降水对区域地表侵蚀越强烈,反之,降水对区域地表侵蚀越微弱。

2.2 数据来源与处理

DEM 为美国宇航局网站 (<https://earthdata.nasa.gov/>) 提供的 2007 年 ALOS DEM 数据,空间分辨率 12.5 m;降水数据为 WorldClim 网站 (<http://www.worldclim.org/data/index.html>) 提供的 1961 年 1 月至 2007 年 1 月月降水量栅格数据,空间分辨率 2.5' \times 2.5'。以大别山东南缘为研究区, ArcGIS 10.6、MATLAB R2021a 为操作软件平台,首先提取研究区 5 条 NW—SE 向河流干流(R1、R2、R3、R4、R5)并校正;随后运用“重叠剖面”工具提取干流纵剖面,并利用“TopoToolbox”工具集对干流纵剖面进行平滑处理,降低纵剖面“噪声”^[36-37];最后,基于干流纵剖面及平面形态,利用上述软件和工具分别提取干流的裂点、 k_{sn} 值、 HI 值、 $S-A$ 双对数散点图^[38]、裂点区域降水年侵蚀力值,为辨析裂点成因提供数据支持。

3 结果分析

3.1 12.5 m 空间分辨率 DEM 裂点提取准确性

DEM 常被用于河流形态特征提取,探究河流演化内、外部制约因素历史信息^[39-40]。DEM 空间分辨率对地表信息提取准确性具有一定制约作用^[41-42],分析裂点成因前,需要对 12.5 m 空间分辨率 DEM 提取的裂点准确性进行探讨。

以前人^[16]研究较为深入的庐山河流为参考样本,以庐山将军河和三叠泉两条河流的垂阶型裂点分布为对比对象,利用前文裂点提取方法分别基于 12.5 m、30 m、90 m 空间分辨率 DEM 提取两条河流的裂点,比较 3 种 DEM 提取裂点与前人提取裂点的分布差异(图 2)。结果显示不同空间分辨率 DEM 提取裂点之间虽然存在一定海拔、平滑程度差异,但是数量和精度并无显著区别,将军河和三叠泉的垂阶型裂点在上述 3 种空间分辨率 DEM 中均得到有

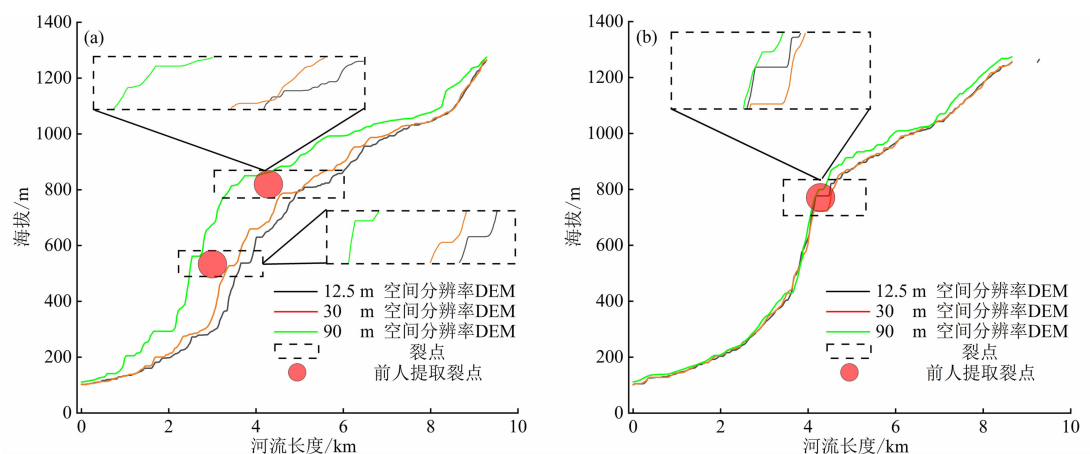


图2 不同分辨率 DEM 提取裂点和前人提取裂点位置对比: (a) 庐山将军河; (b) 庐山三叠泉

Fig. 2 Comparison of the longitudinal profiles of the Lushan river extracted from different resolution DEMs;

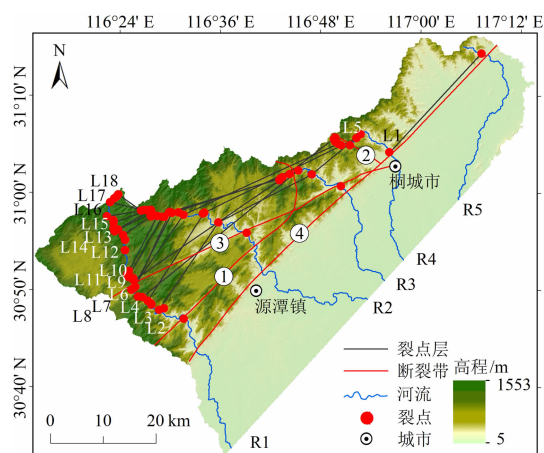
(a) the Jiangjun river of the Lushan Mountains, China; (b) the Sandiequan river of the Lushan Mountains, China

效反映,表明 DEM 空间分辨率虽然会制约河流纵剖面提取准确性,但是对于裂点等典型地貌特征,DEM 空间分辨率的制约程度相对较低,12.5 m 乃至更低空间分辨率 DEM 可以用作河流裂点的提取、分析,符合前人研究结果^[8]。

3.2 裂点提取结果

大别山东南缘 5 条干流共发育 68 个裂点。水平方向上,裂点集中分布在郧庐断裂带西北侧的山地区域,数量呈西南向东北减少的趋势分布(图 3)。垂直方向上,裂点均位于海拔 50 m 以上,具有明显的层状分布特征,通过划分可以得到 18 条由海拔相近裂点组成的裂点层 L1 ~ L18(图 4),例如 L1 由

R4 海拔最低的裂点(R4-1)和 R5 海拔最低的裂点(R5-1)组成(表 1),海拔分别为 85 m 和 83 m。除 L17、L18 外,其他裂点层均为 SW—NE 走向,近似平行分布,与水吼—英山韧性剪切带、郧庐断裂带走向基本一致,断裂带活动可能在该区域河流裂点发育过程中扮演着重要角色。



①水吼—英山韧性剪切带;②晓天—磨子潭断裂带;
③岳西—桐城断裂带;④郧庐断裂带

图3 大别山东南缘裂点层水平分布

Fig. 3 Horizontal distribution of the knickpoint layers in the southeast edge of the Dabie Mountains, China

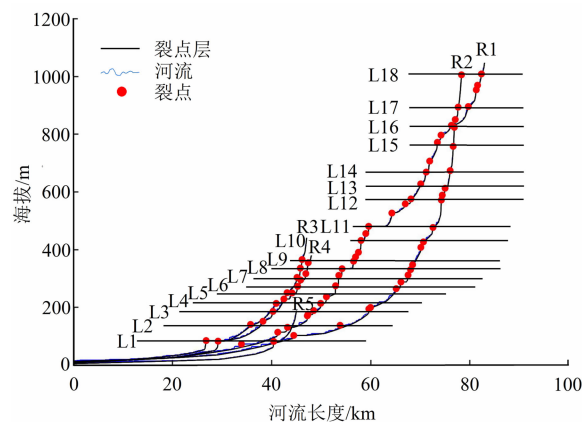


图4 大别山东南缘裂点层垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of the knickpoint layers in the southeast edge of the Dabie Mountains, China

3.3 k_{sn} 和 HI 值提取结果

水平方向上,以郧庐断裂带为界,大别山东南缘山地区域 k_{sn} 、 HI 值相对较高, k_{sn} 值普遍高于 $20 \text{ m}^{0.9}$, HI 值普遍高于 0.35(图 5);垂直方向上,以海拔 50 m 为界,界线以上河段 k_{sn} 值普遍高于 $20 \text{ m}^{0.9}$, HI 值普遍高于 0.35(图 6)。R1 拥有 5 条干流中的 k_{sn} 最高值, k_{sn} 值在 $70 \text{ m}^{0.9}$ 以上,其他干流

表 1 大别山东南缘各裂点层及其组成裂点

Tab. 1 The knickpoints of each knickpoint layer in the southeast edge of the Dabie Mountains, China

裂点层	裂点所属河流及其编号				
	R1	R2	R3	R4	R5
L1				1	1
L2	3	2	2	2	
L3	6	3		3	
L4	7		3		
L5			4	5	
L6	9	5		6	
L7	10	7	5		
L8	11	8	6		
L9	12		7	9	
L10	15	11			
L11	17	12			
L12	20	13			
L13	21	15			
L14	22	16			
L15	24	17			
L16	26	18			
L17	27	20			
L18	30	21			

的 k_{sn} 最高值相对较小,R2 的 k_{sn} 最高值在 $30\text{ m}^{0.9}$ 以上,R3 的 k_{sn} 最高值在 $40\text{ m}^{0.9}$ 以上,R4 的 k_{sn} 最高值

在 $30\text{ m}^{0.9}$ 以上,R5 的 k_{sn} 最高值在 $20\text{ m}^{0.9}$ 以上,5 条干流的 k_{sn} 值呈现明显的山地区域高、盆地区域低, k_{sn} 最高值由西南向东北降低的空间分布特征。R1、R2 拥有 5 条干流中的 HI 最高值, HI 值在 0.5 以上,其他干流的 HI 最高值相对较小,R3、R5 的 HI 最高值在 0.45 以上,R4 的 HI 最高值在 0.4 以上,5 条干流的 HI 最高值呈现与 k_{sn} 值相似的山地区域高、盆地区域低,最高值由西南向东北降低的空间分布特征。山地区域构造运动相较山前盆地区域更加活跃,构造抬升速率大,为该区域构造运动成因裂点的发育提供可能。

3.4 S-A 双对数散点提取结果

R1、R2、R3 的 S-A 双对数散点图中均存在 1 个明显的垂向长钉状散点分布特征,表明 R1、R2、R3 均存在 1 个垂阶型裂点,位于中下游河段;R4、R5 的 S-A 双对数散点图中无明显的垂向长钉状散点分布特征,表明 R4、R5 可能不存在垂阶型裂点(图 7)。

3.5 降水年侵蚀力值提取结果

大别山东南缘裂点区域的降水年侵蚀力值均高于 $4000\text{ J}\cdot\text{cm}\cdot\text{ha}^{-1}$,多数裂点区域的降水年侵蚀力值在 $5000\text{ J}\cdot\text{cm}\cdot\text{ha}^{-1}$ 以上,最高值为 R2-21 区域, R 值达到 $5633\text{ J}\cdot\text{cm}\cdot\text{ha}^{-1}$,最低值为 R5-1 区域, R 值为 $4222\text{ J}\cdot\text{cm}\cdot\text{ha}^{-1}$ (图 8)。上游裂点区域的降水年侵蚀力值较高,靠近河流下游,降水年侵

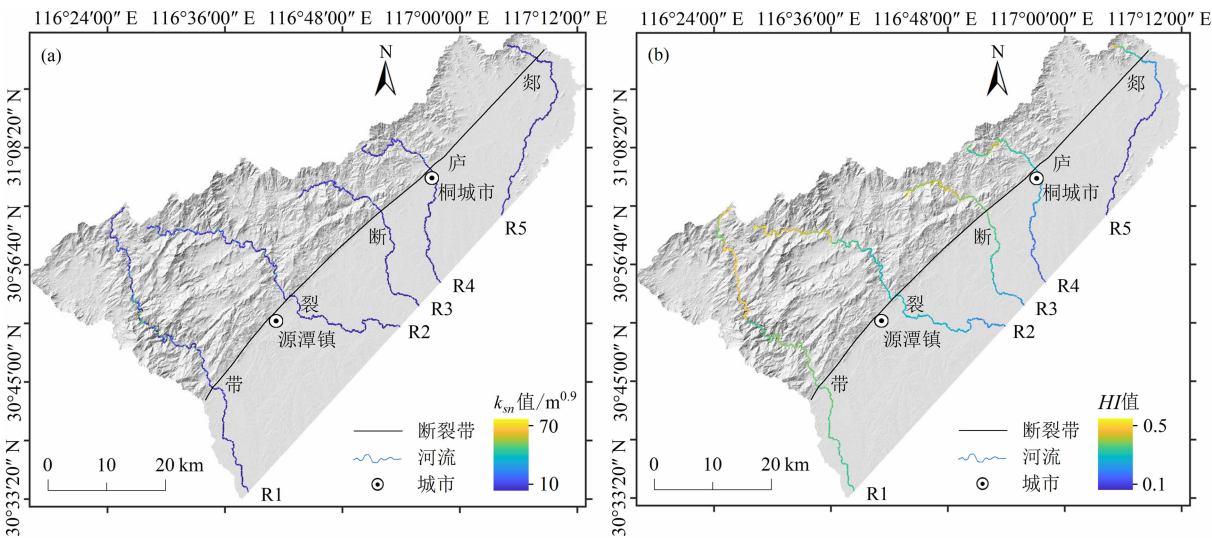


图 5 大别山东南缘干流的 k_{sn} 和 HI 值水平分布:(a) k_{sn} 值;(b) HI 值

Fig. 5 Horizontal distribution of the k_{sn} and HI values of the main streams in the southeast edge of the Dabie Mountains, China:

(a) the k_{sn} values; (b) the HI values

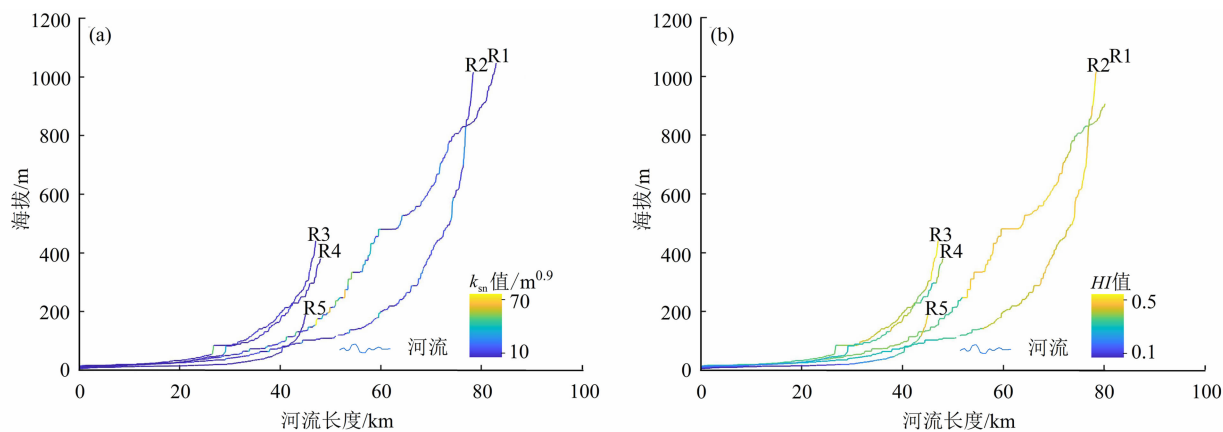


图6 大别山东南缘干流的 k_{sn} 和 HI 值垂直分布: (a) k_{sn} 值; (b) HI 值

Fig. 6 Vertical distribution of the k_{sn} and HI values of the main streams in the southeast edge of the Dabie Mountains, China;

(a) the k_{sn} values; (b) the HI values

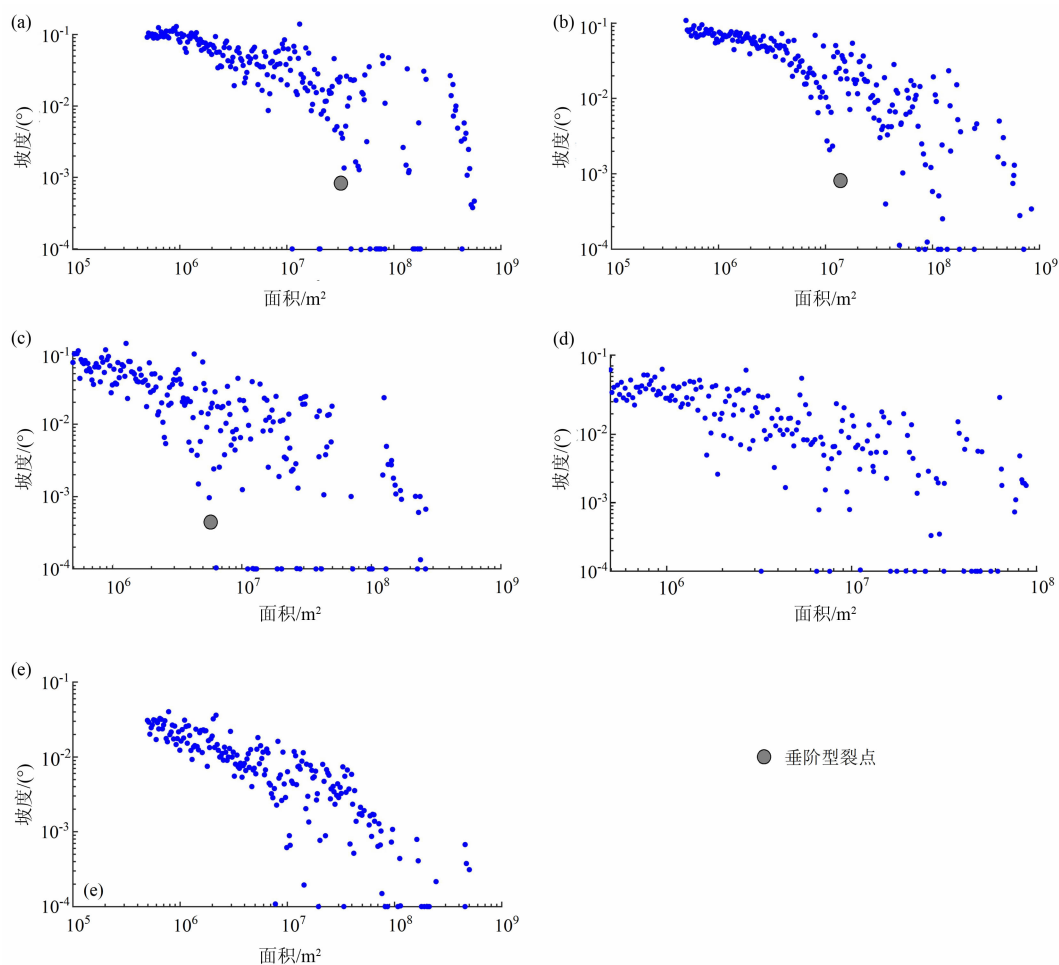


图7 大别山东南缘干流的 S-A 双对数散点图: (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5

Fig. 7 S-A double logarithmic scatter plot of the main streams in the southeast edge of the Dabie Mountains, China;

(a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5

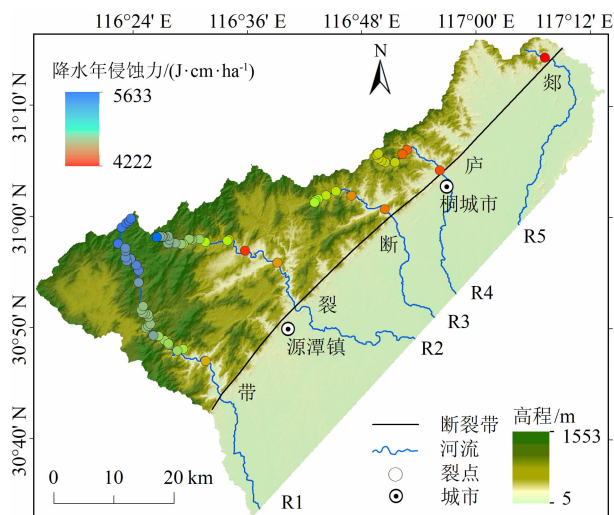


图 8 大别山东南缘裂点区域降水年侵蚀力值

Fig. 8 Annual rainfall erosivity value of the knickpoint region in the southeast edge of the Dabie Mountains, China

蚀力值降低。

4 讨论

大别山东南缘 5 条干流共发育 68 个裂点,其中部分裂点位于 k_{sn} 、 HI 值均较高的高构造抬升速率河段,例如河段 k_{sn} 、 HI 值分别为 $74 \text{ m}^{0.9}$ 和 0.48 的 R1-9,河段 k_{sn} 、 HI 值分别为 $45 \text{ m}^{0.9}$ 和 0.45 的 R1-10,此类裂点应是由构造抬升形成的构造成因裂点。除上述裂点外,剩余裂点均位于 k_{sn} 、 HI 值相对较低的低构造抬升速率河段,例如河段 k_{sn} 值只有 $11 \text{ m}^{0.9}$ 的 R1-27,这些裂点多为裂点层裂点,通常是邻近断层不同期次活动事件的产物^[39-40],而深切大别山东南缘的郧庐断裂带自早侏罗世形成以来,历史上发生过多大型断层活动,最近一次发生在中新世,晚更新世以来活动微弱甚至未活动^[41-42,45-46],这不仅与裂点层的发育相对应,也符合当前多数裂点层裂点位于低构造抬升速率河段的分布特征,结合裂点层与郧庐断裂带、水吼—英山韧性剪切带近似平行的水平走向,本文认为裂点层裂点发育和断裂带活动密切相关,是由郧庐断裂带、水吼—英山韧性剪切带不同期次断层活动形成,也属于构造成因裂点。综上所述,大别山东南缘构造成因裂点由两部分组成,一部分由区域构造抬升形成,裂点位于 k_{sn} 、 HI 值均较高的构造运动活跃河段;另一部分由断裂带断层活动产生,形成平行分布的裂

点层(图 9a)。

除了受到构造运动的影响,大别山东南缘地质构造复杂,燕山、加里东、庐镇关等构造层错杂分布,片麻岩、大理岩、闪长岩等抗侵蚀强度不同的岩石类型广泛发育^[23,43],岩性差异也是影响裂点发育的可能因素。通过将裂点位置与区域地质构造图叠加,发现 R1-1、R2-1、R3-1、R4-4 位于岩性分界线上,极可能是垂阶型裂点^[44,47]。而 R1、R2、R3 的 S-A 双对数散点图中也显示有 1 个垂阶型裂点存在,因此判断 R1-1、R2-1、R3-1 是由岩性差异产生的垂阶型裂点,属于岩性成因裂点(图 9b)。岩性成因裂点的形成条件比较苛刻^[40,44],加之使用的数据和判断方法也会影响岩性成因裂点的判别,这可能是造成大别山东南缘岩性成因裂点数量稀少的主要原因。冰川作用和降水同样是影响裂点发育的重要因素,大别山东南缘全年温暖湿润,年均降水量在 1000 mm 以上,年平均气温在 10°C 以上,山地区域平均海拔约 427 m,地形起伏度大,不适合冰川 U 型谷地的发育^[12,22,51],并且前人研究^[48-50]表明中国东部中低山地区没有发育冰川的古气候条件,因此本文认为该区域河流裂点发育与冰川作用无关。而降水可以通过改变径流量,进而对河流纵剖面形态造成显著影响^[27,52-53],R1-18、R1-19、R2-6 具有明显的低 k_{sn} 、高 HI 值河段特征,例如 R1-18 河段的 k_{sn} 值低于 $30 \text{ m}^{0.9}$, HI 值却在 0.45 以上,表明 R1-18 河段区域构造抬升速率低,但河道侵蚀作用明显,符合降水侵蚀特征,并且 R1-18、R1-19、R2-6 区域具有较高的降水年侵蚀力值,特别是 R1-18、R1-19 区域,降水年侵蚀力值均在 $5400 \text{ J} \cdot \text{cm} \cdot \text{ha}^{-1}$ 以上,判断上述 3 个裂点是由降水因素形成的气候成因裂点(图 9c)。

水坝、桥梁会导致河流纵剖面形态变化,形成类似裂点的河段特征^[36]。大别山东南缘受到显著的人类活动影响,基于遥感影像目视解译及野外实地调查,发现 R1-5、R1-16、R1-23、R1-28、R2-4、R2-9、R4-7 位置修建有水坝、桥梁(图 10),这些人工建筑物造成河流纵剖面坡度变化,从而形成裂点,因此判断上述裂点是由人类活动产生的人为因素成因裂点(图 9d)。R1-4 位于 R1-5 下方数十米处,由水库排泄冲刷产生,也将其归纳为人为因素成因裂点。

上述分析表明大别山东南缘河流发育受到构造运动、岩性、气候等多种因素影响,构造运动是

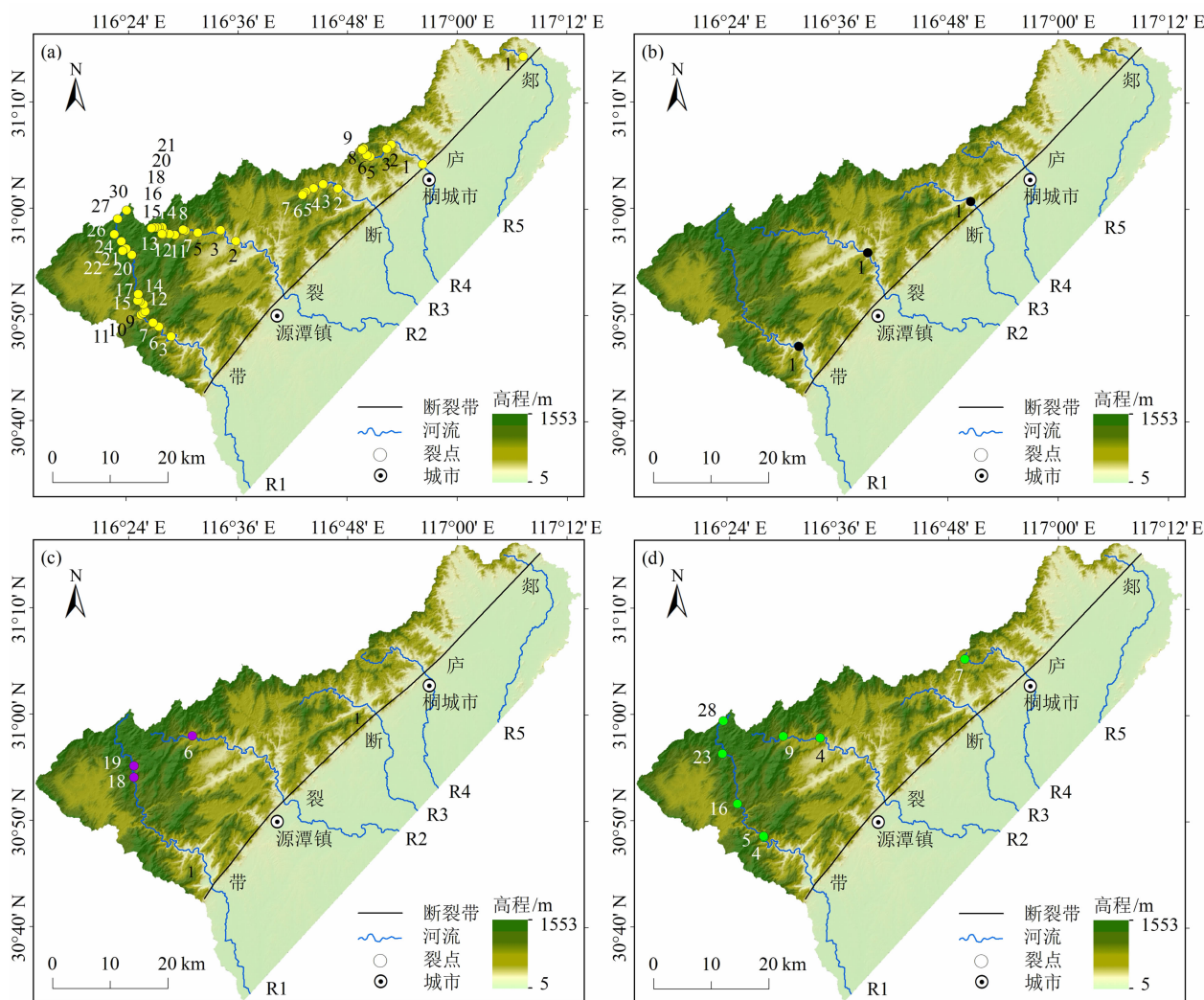


图9 大别山东南缘各型裂点分布:(a) 构造运动成因裂点;(b) 岩性差异成因裂点;(c) 气候成因裂点;(d) 人为因素成因裂点

Fig. 9 Distribution of the knickpoints with different genesis in the southeast edge of the Dabie Mountains, China;

- (a) the knickpoints with tectonic activity genesis; (b) the knickpoints with lithology genesis;
(c) the knickpoint with climate genesis; (d) the knickpoints with human activity genesis

制约区域河流发育和地貌演化的主导因素,河流裂点成因可以作为区域河流地貌演化研究的重要切入点,为反映区域构造运动、岩性、气候等历史信息,揭示区域河流地貌演化过程提供帮助,同时裂点获取的便捷性相较于其他研究手段具有一定优势,可以用于部分地形复杂、难以开展实地调查区域的地貌相关研究。受限于 DEM 数据、研究区地质构造资料等,本文研究的深入程度存在一定不足,后期有望进一步加强。

5 结论

大别山东南缘断层发育、岩性复杂、降水丰沛、

受人类活动影响显著,具有复杂的河流演化环境,本文基于 12.5 m 分辨率 DEM,综合运用 k_{sn} 、 HI 、 $S-A$ 双对数法、降水侵蚀力等方法对区域河流裂点成因进行分析,得到以下认识:

(1) 大别山东南缘 5 条河流干流均处于不平衡状态,广泛发育裂点,总数量达到 68 个。R1 裂点最多,达到 30 个,R5 裂点最少,只有 1 个。

(2) 大别山东南缘裂点发育受到构造运动、岩性、降水、人类活动等多种因素影响,其中岩性、降水、人类活动因素共形成 13 个裂点,是区域裂点发育的次要控制因素,对河流演化制约程度较低,而构造运动共形成 45 个裂点,超过裂点总数量的 65%,是该区域裂点发育的主导控制因素,郟庐断裂带等



图 10 大别山东南缘人为因素成因裂点区域遥感影像:

(a) R1-4; (b) R1-5; (c) R1-16; (d) R1-23; (e) R1-28; (f) R2-4; (g) R2-9; (h) R4-7

Fig. 10 Remote sensing images of the regions of the knickpoints with human activity genesis in the southeast edge of the Dabie Mountains, China;

(a) R1-4; (b) R1-5; (c) R1-16; (d) R1-23; (e) R1-28; (f) R2-4; (g) R2-9; (h) R4-7

的断层活动在其中发挥着重要作用,形成 18 条裂点层。

(3)构造运动对大别山东南缘地貌演化具有显著影响,郯庐断裂带等的断层活动是造成该地区地形起伏明显的重要原因。区域内构造运动活跃性存在差异,山地区域构造运动活跃性相较于山前盆地区域更高,西南区域构造运动活跃性相较于东北区域更高,构造运动活跃性呈现由西南向东北降低的空间趋势。

参考文献 (References)

- [1] SCHOENBOHM L M, WHIPPLE K X, BURCHFIEL B C, et al. Geomorphic constraints on surface uplift, exhumation, and plateau growth in the Red River region, Yunnan province, China [J]. Geological Society of America Bulletin, 2004, **116**(7-8): 895-909. DOI: 10.1130/B25364.1
- [2] NEELY A B, BOOKHAGEN B, BURBANK D W. An automated knickzone selection algorithm (KZ-Picker) to analyze transient landscapes: Calibration and validation [J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2017, **122**(6): 1236-1261. DOI: 10.1002/2017JF004250
- [3] SHI Xiaohui, YANG Zhao, DONG Yunpeng, et al. Longitudinal profile of the upper Weihe River: Evidence for the late Cenozoic uplift of the northeastern Tibetan Plateau [J]. Geological Journal, 2018, **53**(S1): 364-378. DOI: 10.1002/gj.3195
- [4] CYR A J, GRANGER D E, OLIVETTI V, et al. Distinguishing between tectonic and lithologic controls on bedrock channel longitudinal profiles using cosmogenic ^{10}Be erosion rates and channel steepness index [J]. Geomorphology, 2014, **209**(15): 27-38. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.12.010
- [5] CROSBY B T, WHIPPLE K X. Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand [J]. Geomorphology, 2006, **82**(1-2): 16-38. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.08.023
- [6] 李正晨, 王先彦, 于洋, 等. 岩性和侵蚀基准面对构造活跃区河流地貌演化的影响——以青藏高原东北缘老虎山和哈思山地区为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, **51**(6): 994-1008. [LI Zhengchen, WANG Xianyan, YU Yang, et al. The impacts of base level and lithology on fluvial geomorphic evolution at the tectonically active Laohu and Hasi Mountains, northeastern Tibetan Plateau [J]. Science China Earth Sciences, 2021, **51**(6): 994-1008] DOI: 10.1360/N072020-0162
- [7] BABAEI S, DEHBOZORGI M, HOSSEINIASHI A, et al. New insights into the effect of the quaternary fault activity on river knickpoints in the Central Alborz (Iran) [J]. Quaternary International, 2020, **562**(10): 104-120. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.09.025
- [8] ALVES F C, ROSSETTI D D F, VALERIANO M D M. Detecting neotectonics in the lowlands of Amazonia through the analysis of river long profiles [J]. Journal of South American Earth Sciences, 2020, **100**: 102553. DOI: 10.1016/j.jsames.2020.102553
- [9] 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): 58-70. [LIU Weiming, ZHOU Liqin, CHEN Xiaoqing, 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
- [10] 李志威, 袁昕亚, 余国安. 雅鲁藏布江流域河流纵剖面特征及其地貌学意义[J]. 泥沙研究, 2020, **45**(3): 67-73. [LI Zhiwei, YUAN Xinya, YU Guoan. Characteristics and geomorphologic significance of channel longitudinal profile in the Yarlung Tsangpo River Basin [J]. Journal of Sediment Research,

- 2020, **45**(3): 67 – 73] DOI: 10.16239/j.cnki.0468 – 155x.2020.03.010
- [11] CHAUVEAU D, AUTHEMAYOU C, MOLLIEUX S, et al. Eustatic knickpoint dynamics in an uplifting sequence of coral reef terraces, Sumba Island, Indonesia [J]. *Geomorphology*, 2021, **393**(15): 107936. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2021.107936
- [12] 刘譞, 林舟, 丁超. 岷江上游流域裂点分布及成因分析[J]. 高校地质学报, 2020, **26**(3): 339 – 349. [LIU Xuan, LIN Zhou, DING Chao. Distribution and causes of knickpoints in the upper reaches of Minjiang River [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2020, **26**(3): 339 – 349] DOI: 10.16108/j.issn1006 – 7493.2019036
- [13] 陈苗, 胡小飞, 王维. 走廊南山河流纵剖面高海拔裂点的成因[J]. 地理学报, 2018, **73**(9): 1702 – 1713. [CHEN Miao, HU Xiaofei, WANG Wei. The cause of high-altitude knickpoints on river longitudinal profiles along the Zoulang Nan Shan [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, **73**(9): 1702 – 1713] DOI: 10.11821/dlxb201809007
- [14] HACKER B R, RATSCHBACHER L, WEBB L, et al. What brought them up? Exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure rocks [J]. *Geology*, 1995, **23**(8): 743 – 746. DOI: 10.1130/00917613(1995)023<0743: WBTUEO>2.3.CO;2
- [15] 李三忠, 张国伟, 董树文, 等. 大别山高压—超高压岩石折返与扬子北缘构造变形的关系[J]. 岩石学报, 2010, **26**(12): 3549 – 3562. [LI Sanzhong, ZHANG Guowei, DONG Shuwen, et al. Relation between exhumation of HP-UHP metamorphic rocks and deformation in the northern margin of the Yangtze Block [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, **26**(12): 3549 – 3562]
- [16] 李宝芳, 马文璞, 张惠良, 等. 大别山北麓石炭纪盆地沉积和构造研究[J]. 地学前缘, 2000, **7**(3): 153 – 167. [LI Baofang, MA Wenpu, ZHANG Huiliang, et al. A study on sedimentology and tectonics of the carboniferous basin in the northern foot hills of the Dabie Mountains, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, **7**(3): 153 – 167] DOI: 10.3321/j.issn:1005 – 2321.2000.03.016
- [17] 刘贻灿, 徐树桐, 李曙光, 等. 大别山北部榴辉岩的大地构造属性及冷却史[J]. 地球科学, 2003, **28**(1): 11 – 16. [LIU Yican, XU Shutong, LI Shuguang, et al. Tectonic setting and cooling history of eclogites from northern Dabie Mountains [J]. *Earth Science*, 2003, **28**(1): 11 – 16] DOI: 10.3321/j.issn:1000 – 2383.2003.01.003
- [18] 闫诚, 高锐, 郭晓玉. 深地震反射剖面所揭示的大陆碰撞后期的构造演化——以大别山造山带研究为例[J]. 地球物理学进展, 2020, **35**(5): 1702 – 1709. [YAN Cheng, GAO Rui, GUO Xiaoyu. Post-collisional tectonic evolution revealed by deep seismic reflection profiles: A case study in the Dabie orogenic belt [J]. *Progress in Geophysics*, 2020, **35**(5): 1702 – 1709] DOI: 10.6038/pg2020DD0362
- [19] 黎哲君, 义崇政, 周冬瑞, 等. 大别山造山带东段重力异常多尺度分界及其构造意义[J]. 地震地质, 2021, **43**(1): 158 – 176. [LI Zhejun, YI Chongzheng, ZHOU Dongrui, et al. Multi-scale decomposition of gravity anomaly of the eastern Dabie orogen and its tectonic implications [J]. *Seismology and Geology*, 2021, **43**(1): 158 – 176] DOI: 10.3969/j.issn.0253 – 4967.2021.01.010
- [20] 赵明松, 李德成, 程先富, 等. 皖西大别山区土壤侵蚀空间分布特征及与地形的关系[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2017, **40**(3): 265 – 270. [ZHAO Mingsong, LI Decheng, CHENG Xianfu, et al. Spatial characteristics of soil erosion and its relationship to topography in Dabie Mountains of west Anhui [J]. *Journal of Anhui Normal University (Natural Science)*, 2017, **40**(3): 265 – 270] DOI: 10.14182/J.cnki.1001 – 2443.2017.03.013
- [21] 江来利, 胡召齐. 大别山东段的变质地层格架[J]. 安徽地质, 2014, **24**(1): 1 – 6. [JIANG Laili, HU Zhaoqi. Metamorphic stratigraphic framework in the eastern part of the Dabie Mountain [J]. *Geology of Anhui*, 2014, **24**(1): 1 – 6] DOI: 10.3969/j.issn.1005 – 6157.2014.01.001
- [22] HACKER B R, RATSCHBACHER L, WEBB L, et al. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, **161**(1–4): 215 – 230. DOI: 10.1016/S0012 – 821X(98)00152 – 6
- [23] 安徽省地质调查院. 1:50 万安徽省地质构造图[CM/OL]. (2018-11-29) [2022-07-15] <http://www.ag.s.org.cn/download.php>. [Geological Survey of Anhui Province. 1:500,000 Geologic structure map of Anhui province [CM/OL]. (2018-11-29) [2022-07-15] <http://www.ag.s.org.cn/download.php>]
- [24] FLINT J J. Stream gradient as a function of order, magnitude, and discharge [J]. *Water Resources Research*, 1974, **10**(5): 969 – 973. DOI: 10.1029/WR010i005p00969
- [25] HOWARD A D. A detachment-limited model of drainage basin evolution [J]. *Water Resources Research*, 1994, **30**(7): 2261 – 2285. DOI: 10.1029/94WR00757
- [26] MUDD S M, CLUBB F J, GAILLETON B, et al. How concave are river channels? [J] *Earth Surface Dynamics*, 2018, **6**(2): 505 – 523. DOI: 10.5194/esurf – 6 – 505 – 2018
- [27] SNYDER N P, WHIPPLE K X, TUCKER G E, et al. Landscape response to tectonic forcing: Digital elevation model analysis of stream profiles in the Mendocino triple junction region, northern California [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2000, **112**(8): 1250 – 1263. DOI: 10.1130/0016 – 7606(2000)112<1250:LRTTFD>2.0.CO;2
- [28] GALEN S F, WEGMANN K W. River profile response to normal fault growth and linkage: An example from the Hellenic forearc of south-central Crete, Greece [J]. *Earth Surface Dynamics*, 2017, **5**(1): 161 – 186. DOI: 10.5194/esurf – 2016 – 52
- [29] TRAUERSTEIN M, NORTON K P, PREUSSER F, et al.

- Climatic imprint on landscape morphology in the western escarpment of the Andes [J]. *Geomorphology*, 2013, **194**: 76 – 83. DOI: 10.5194/esurf-5-161-2017
- [30] PIKE R J, WILSON S E. Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1971, **82**(4): 1079 – 1083. DOI: 10.1130/0016-7606(1971)82[1079;ERHIAG]2.0.CO;2
- [31] STRAHLER A N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1952, **63**(11): 1117 – 1142. DOI: 10.1130/0016-7606(1952)63[1117;HAAOET]2.0.CO;2
- [32] DELCAILLAU B, DEFFONTAINES B, FLOISSAC L, et al. Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan anticline, foothills of Taiwan [J]. *Geomorphology*, 1998, **24**(4): 263 – 290. DOI: 10.1016/S0169-555X(98)00020-8
- [33] 祝士杰, 汤国安, 李发源, 等. 基于 DEM 的黄土高原面积高程积分研究[J]. *地理学报*, 2013, **68**(7): 921 – 932. [ZHU Shijie, TANG Guo'an, LI Fayuan, et al. Spatial variation of hypsometric integral in the Loess Plateau based on DEM [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, **68**(7): 921 – 932]
- [34] WANG Yizhou, ZHANG Huiping, ZHENG Dewen, et al. Coupling slope-area analysis, integral approach and statistic tests to steady state bedrock river profile analysis [J]. *Earth Surface Dynamics*, 2017, **5**(1): 145 – 160. DOI: 10.5194/esurf-2016-40
- [35] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律[J]. *中国水土保持*, 1994, **4**(4): 12 – 13. [WU Suye. Simplified algorithm and spatial and temporal distribution of precipitation erosivity in the Dabie Mountains, Anhui [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 1994, **4**(4): 12 – 13] DOI: 10.14123/j.cnki.swcc.1994.04.004
- [36] SCHWANGHART W, GROOM G, KUHN N J, et al. Flow network derivation from a high resolution DEM in a low relief, agrarian landscape [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2013, **38**(13): 1576 – 1586. DOI: 10.1002/esp.3452
- [37] SCHWANGHART W, SCHERLER D. Bumps in river profiles: Uncertainty assessment and smoothing using quantile regression techniques [J]. *Earth Surface Dynamics*, 2017, **5**(4): 821 – 839. DOI: 10.5194/esurf-5-821-2017
- [38] SCHWANGHART W, SCHERLER D. Short communication: TopoToolbox 2-MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in earth surface sciences [J]. *Earth Surface Dynamics*, 2014, **2**(1): 1 – 7. DOI: 10.5194/esurf-2-1-2014
- [39] 戴岩, 王先彦, 王胜利, 等. 地貌形态指数反映的青藏高原东北部宛川河流域新构造活动[J]. *地理学报*, 2016, **71**(3): 412 – 421. [DAI Yan, WANG Xianyan, WANG Shengli, et al. The neotectonic activity of Wanchuan catchment reflected by geomorphic indices [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, **71**(3): 412 – 421] DOI: 10.11821/dlxb201603005
- [40] 黄伟亮, 杨虔灏, 彭建兵, 等. 基于河流裂点序列研究秦岭北缘断裂强震活动历史[J]. *第四纪研究*, 2022, **42**(3): 844 – 857. [HUANG Weiliang, YANG Qianhao, PENG Jianbing, et al. Evaluating knickpoint retreat along the Qinling north piedmont fault for paleoseismological analysis during Holocene [J]. *Quaternary Sciences*, 2022, **42**(3): 844 – 857] DOI: 10.11928/j.issn.1001-7410.2022.03.17
- [41] 杨源源, 赵朋, 汪小厉, 等. 大别山东麓河流变形研究与郯庐断裂带活动性分析[J]. *华北地震科学*, 2018, **36**(4): 16 – 24. [YANG Yuanyuan, ZHAO Peng, WANG Xiaoli, et al. River deformation in the east foot of the Dabie Mountains and activity analysis of Tan-Lu fault zone [J]. *North China Earthquake Sciences*, 2018, **36**(4): 16 – 24] DOI: 10.3969/j.issn.1003-1375.2018.04.003
- [42] 朱光, 王勇生, 牛漫兰, 等. 郯庐断裂带的同造山运动[J]. *地学前缘*, 2004, **11**(3): 171 – 181. [ZHU Guang, WANG Yongsheng, NIU Manlan, et al. Synorogenic movement of the Tan-Lu fault zone [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, **11**(3): 171 – 181] DOI: 10.3321/j.issn:1005-2321.2004.03.018
- [43] LIU Yican, LI Shuguang. Detachment within subducted continental crust and multi-slice successive exhumation of ultrahigh-pressure metamorphic rocks: Evidence from the Dabie-Sulu orogenic belt [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, **53**(20): 3105 – 3119. DOI: 10.1007/s11434-008-0387-1
- [44] KORUP O, MONTGOMERY D R, HEWITT K. Glacier and landslide feedbacks to topographic relief in the Himalayan syntaxes [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, **107**(12): 5317 – 5322. DOI: 10.1073/pnas.0907531107
- [45] 曹志磊, 周琼, 鲍玉静, 等. 郯庐断裂带中南段断层形变累积率长期变化特征[J]. *国际地震动态*, 2018, **480**(12): 22 – 28. [CAO Zhilei, ZHOU Qiong, BAO Yujing, et al. Long-term variation of fault deformation rate in the central-south segment of the Tanlu fracture zone [J]. *Recent Developments in World Seismology*, 2018, **480**(12): 22 – 28] DOI: 10.3969/j.issn.0253-4975.2018.12.005
- [46] 葛计划, 曹志磊, 孙军, 等. 郯庐断裂带中南段跨断层短水准形变特征初步分析[J]. *地震科学进展*, 2022, **52**(11): 513 – 523 + 535. [GE Jihua, CAO Zhilei, SUN Jun, et al. Preliminary analysis on the characteristics of short leveling deformation across faults in the central and southern part of Tan-Lu fault zone [J]. *Progress in Earthquake Sciences*, 2022, **52**(11): 513 – 523 + 535] DOI: 10.19987/j.dzksjz.2022-078
- [47] WHIPPLE K X. Bedrock rivers and the geomorphology of active orogens [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2004, **32**(1): 151 – 185. DOI: 10.1146/annurev.earth.32.101802.120356
- [48] 肖平, 景才瑞. 大别山天堂水库四周第四纪冰川遗迹探讨

- [J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 1993, **27**(1): 99 – 104. [XIAO Ping, JING Cairui. Research into the remnants of quaternary glacial round Tiantang reservoir, Dabie Mountain [J]. Journal of Central China Normal University, 1993, **27**(1): 99 – 104] DOI: 10.19603/j.cnki.1000-1190.1993.01.025
- [49] 刘格升, 王传尚, 胡斌. 大别山地区存在第四纪冰川吗? [J]. 华南地质与矿产, 2013, **29**(1): 66 – 71. [LIU Gesheng, WANG Chuanshang, HU Bin. Does the Quaternary glacier ever exist in the Dabieshan area? [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2013, **29**(1): 66 – 71] DOI: 10.3969/j.issn.1007-3701.2013.01.010
- [50] 施雅风. 中国东部中低山地有无发育第四纪冰川的可能性? [J]. 地质论评, 2011, **57**(1): 44 – 49. [SHI Yafeng. Is it possible to develop Quaternary glaciers in the middle and low mountains of eastern China? [J]. Geological Review, 2011, **57**(1): 44 – 49] DOI: 10.16509/j.georeview.2011.01.011
- [51] 杨翔, 程先富. 安徽省大别山区土壤侵蚀及其经济损失评估 [J]. 土壤保持通报, 2013, **33**(6): 136 – 140. [YANG Xiang, CHENG Xianfu. Soil erosion and its economic loss assessment in Dabie Mountain area in Anhui province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, **33**(6): 136 – 140] DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2013.06.040
- [52] BOOKHAGEN B, BURBANK D W. Toward a complete Himalayan hydrological budget: Spatiotemporal distribution of snowmelt and rainfall and their impact on river discharge [J]. Journal of Geophysical Research, 2010, **115**: F03019. DOI: 10.1029/2009JF001426
- [53] BONNET S, CRAVE A. Landscape response to climate change: Insights from experimental modeling and implications for tectonics versus climatic uplift of topography [J]. Geology, 2003, **31**(2): 123 – 126. DOI: 10.1130/0091-7613(2003)031<0123:LRTCCI>2.0.CO;2
- [54] 张康, 王兆印, 刘怀湘, 等. 裂点发育及其对堰塞坝的稳定性影响 [J]. 山地学报, 2011, **29**(4): 474 – 482. [ZHANG Kang, WANG Zhaoyin, LIU Huaixiang, et al. Effect of knickpoint development in controlling the stability of the landslide dam [J]. Mountain Research, 2011, **29**(4): 474 – 482] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.2011.04.008
- [55] SONAM, SAHOO R, SINGH R N. Temporal profiling of uplift rate along an active fault using river long profile in the Kuchchh region, western India [J]. Quaternary International, 2021, **585**: 85 – 98. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.11.022

Origin and Geomorphological Evolution of River Knickpoints in the Southeast Edge of the Dabie Mountains, China

HE Chengbang^{1,2}, HU Chunsheng^{1,2*}, TIAN Jingmei^{1,2}, ZHAO Tingting^{1,2}

(1. School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, Anhui, China;

2. Anhui Key Laboratory of Earth Surface Processes and Regional Response in the Yangtze-Huaihe River Basin, Wuhu 241002, Anhui, China)

Abstract: The morphological features of river knickpoints embody the geo-history of regional river evolution, which are clues to interpret the potential interaction mechanism of regional geomorphic evolution, tectonic movement, climate change and human activities. Past investigations into the genesis of knickpoints were mostly conducted in some typical areas with recognized controlling factors of river evolution, and the approaches to genetic analysis were relatively single.

In this paper, it took the southeast edge of the Dabie Mountains, China as a case study, where a complex river evolution environment with popular regional river knickpoints characterizes the area. These knickpoints were examined by field survey and the evolution of the knickpoints were analyzed by methods, including Standard Steepness Index (k_{sn}), Hypsometric Integral (HI), Slope (S)-Area (A) Double logarithm method and Rainfall Erosivity.

It found the longitudinal profiles of the five main streams in the study area were all in unbalanced states, with 68 knickpoints identified. The development of the knickpoints was coordinated by multiple factors such as tectonic activity, lithology and precipitation. The tectonic movement was a dominant factor to create regional knickpoints,

particularly occurring in the Tanlu Fault Zone, where 45 knickpoints cluster here, accounting for more than 65% of the total number of the knickpoints in the area. The geomorphic evolution of the southeast edge of the Dabie Mountains was governed by tectonic movement. There were active regional fault movements with discrepant tectonic activities; they were higher in the mountain than those in the piedmont basin, and the southwest area had higher evidences than the northeast area.

This study can provide reference for the study of river evolution in complex regions and further understand the geomorphic evolution process of the Dabie Mountains from a new perspective.

Key words: river knickpoint; genesis; tectonic movement; the Dabie Mountains

(责任编辑 钟雨倩)

太白云海——秦岭山地对水汽的阻挡作用

(李双双, 陕西师范大学地理科学与旅游学院)

秦岭, 是中国重要的南北地理分界线。受秦岭东西走向山脉的影响, 关中平原、汉江谷地降水日变化存在明显南北差异。全球变暖趋势下, 夏季极端高温正在改变中国南北过渡带降雨昼夜形态。当昼晴夜雨雨量适中时, 夜雨将是缓解热浪或干旱的气候资源; 当昼晴夜雨雨量异常偏多时, 将增加区域高温热浪与突发性洪水叠加的风险。针对中国秦岭南北气候变化研究, 过去以分析降水时空变化趋势为主, 对全球变暖背景下昼夜降水组合的复杂性关注不足。因此, 关注秦岭山地的屏障作用, 分析秦岭南北昼晴夜雨雨量与气候变暖的时空响应规律, 对构建区域综合风险防范体系具有重要的现实意义。

详见本期《秦岭南北夏季昼晴夜雨雨量时空变化及其影响因素》一文。