

江汉盆地河流碎屑锆石 U-Pb 年龄特征及其 对物源研究的启示

林 旭¹⁾, 吴中海²⁾, 赵希涛³⁾, 张 洋^{1)*}, 陈济鑫¹⁾, 刘海金⁴⁾

1) 三峡大学土木与建筑学院, 湖北宜昌 443002; 2) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

4) 东华理工大学地球科学学院, 江西南昌 330013

摘 要: 江汉盆地位于扬子板块北部, 是长江演化研究的关键地区。锆石是河流沉积物中常见的副矿物, 其 U-Pb 年龄谱对比被广泛用于物源示踪研究, 但在江汉盆地还未系统研究。本文利用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)分别对江汉盆地 12 条流入河流进行了 922 颗碎屑锆石 U-Pb 年龄分析, 结合多维判别图(MDS)和已报道的河流碎屑锆石 U-Pb 年龄结果, 探讨江汉盆地主要流入河流的碎屑锆石 U-Pb 年龄异同性, 结果表明长江、沮漳河和清江的碎屑锆石 U-Pb 峰值年龄组成存在差异; 作为江汉盆地输沙量最大的两条河流, 长江和汉江的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成存在明显不同; 大别山的河流同时与汉江和长江的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成存在差异; 发源于幕府山的陆水和汨罗江的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成与长江和湘江的不同; 武陵山的清江、澧水和沅江的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成与湘江、资江的存在差异。这些差异体现了区域性物源区对这些河流碎屑物质组成的影响。因而, 利用江汉盆地周缘河流碎屑锆石 U-Pb 年龄存在的差异, 将其用于江汉盆地盆山耦合和大河演化研究具有良好的应用前景。

关键词: 江汉盆地; 锆石; U-Pb 年龄; 物源示踪

中图分类号: P597 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2021.091701

Detrital Zircon U-Pb Age Characteristics of Main Rivers around Jiangnan Basin and Implications of Provenance Tracing

LIN Xu¹⁾, WU Zhong-hai²⁾, ZHAO Xi-tao³⁾, ZHANG Yang^{1)*}, CHEN Ji-xin¹⁾, LIU Hai-jin⁴⁾

1) College of Civil Engineering and Architecture, Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002;

2) Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081;

3) Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029;

4) School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013

Abstract: Jiangnan Basin, located in the north of the Yangtze Plate, is a key area for the study of the evolution of the Yangtze River. Zircon is a common accessory mineral in fluvial sediments, and its U-Pb age spectrum has been widely used in provenance tracing studies. However, it has not been systematically studied in Jiangnan Basin. In this study, the U-Pb ages of 922 detrital zircons from 12 inflow rivers in the Jiangnan Basin were analyzed using laser denudation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS). A multidimensional discriminant map (MDS) combined with the reported U-Pb ages of detrital zircons from rivers was employed to assess the U-Pb ages of detrital zircons from 12 inflow rivers. Further, the U-Pb age variation of detrital zircons from the main inflow rivers in Jiangnan Basin was discussed herein. The U-Pb peak age composition of detrital zircons from the Yangtze River, Juzhang River, and Qingjiang River is different. The U-Pb age of detrital zircons

本文由国家自然科学基金项目(编号: 41972212)资助。

收稿日期: 2021-07-30; 改回日期: 2021-09-10; 网络首发日期: 2021-09-23。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 林旭, 男, 1984 年生。博士, 副教授, 硕士生导师。长期从事青藏高原隆升和长江、黄河起源研究, 近年来重点探讨江

汉盆地的盆山耦合和长江发育时间等问题。通讯地址: 443002, 湖北省宜昌市西陵区三峡大学。E-mail: hanwuji-life@163.com。

*通讯作者: 张洋, 男, 1987 年生。博士研究生。主要从事大河物源示踪研究。E-mail: 33702577@qq.com。

in the Yangtze River and Hanjiang River, the two rivers with the largest sediment transport capacity in the Jiangnan Basin, are different. The U-Pb age composition of detrital zircons in the Dabie Mountains is different from that of Hanjiang River and the Yangtze River. The U-Pb age composition of detrital zircons from the Mufu Mountains are different from the Yangtze River and the Xiangjiang River. The U-Pb age composition of detrital zircons from Qingjiang, Lishui and Yuanjiang rivers in the Wuling Mountains are different from Xiangjiang and Zijiang rivers. These differences reflect the influence of regional provenance on the sedimentary material composition of these streams. Therefore, the U-Pb ages of detrital zircons from the surrounding rivers of the Jiangnan Basin have a good application prospect in the study of basin-mountain coupling and river evolution in the Jiangnan Basin.

Key words: Jiangnan Basin; zircon; U-Pb ages; provenance tracing

河流将造山带隆升、地表侵蚀和风化产生的大量碎屑物质搬运到临近盆地沉积,对地表的沉积体系形成、古环境演变以及地貌塑造等均具有显著影响(杨守业, 2006; Clift and Jonell, 2021)。因而,保存在河流的碎屑沉积物成为研究造山带隆升、大河演化等地质问题的重要途径(Yang et al., 2009; Zheng et al., 2013; 林旭和刘静, 2019)。江汉盆地位于扬子板块北缘(图 1A),盆地内汇入了十几条长度超过 100 km 的河流(图 1B),使其成为开展大河演化、盆山耦合研究的关键与理想地区。从而引起众多学者的广泛研究。这其中,物源示踪研究是运用最为广泛的方法,主要包括全岩环境磁学(Zhang et al., 2008)、全岩 Nd 同位素(Shao et al., 2012)、全岩微量元素(Shao et al., 2015)、黏土矿物(Li et al., 2021)、碎屑钾长石微量元素(林旭等, 2021)、碎屑磷灰石微量元素(苏建超等, 2021)、碎屑磷灰石 Sr 同位素(林旭等, 2022)、碎屑磷灰石裂变径迹(Yang et al., 2021)、碎屑锆石 U-Pb 年龄(Wang et al., 2010; Yang et al., 2019)、碎屑辉石微量元素(杨建等, 2012)、重矿物组合(Wei et al., 2020)等分析。得益于实验分析精度的不断提高,这些研究经历了从全岩分析到单颗粒矿物微区原位分析的发展过程,研究者们从而获得了更为详细的物源信息。但在江汉盆地河流碎屑锆石 U-Pb 年龄研究过程中,有的只讨论长江,有的选取某几条河流进行对比,而大别山和幕府山的河流,以及武陵山和雪峰山的资江、澧水和清江的碎屑锆石 U-Pb 年龄依然未开展相关分析。

在过去的十几年中,国内外研究者对锆石的内部结构、微量元素和同位素地球化学等方面开展了广泛的研究,极大的丰富了“锆石学”的研究理论(Corfu et al., 2003)。时至今日,由于锆石在河流沉积物中广泛存在,并且随着商业化分析的普及,大规模分析河流碎屑锆石 U-Pb 年龄成为可能,所以锆石依然是开展 U-Pb 年龄的首选副矿物(Deng et al., 2021; Fu et al., 2021)。因而,我们对江汉盆地流入河流开展系统的碎屑锆石 U-Pb 年龄分析,同时结合其已报道的碎屑锆石 U-Pb 年龄分析结果,通

过对比分析,发现特征河流,为解决江汉盆地与远缘和近缘造山带隆升之间的盆山耦合关系、长江水系演化、东亚季风形成等地质问题提供基础研究数据。

1 研究区概况

晚燕山期至喜山期(K₂-E),由于西太平洋板块向欧亚大陆俯冲,导致中国陆块东部处于区域拉张环境,产生了一系列北东向带状分布的断陷盆地,江汉盆地即在这一区域构造背景下出现的(Wu et al., 2020)。长江自西向东经长江三峡流入盆地;汉江自北部注入盆地;澧河、倒水、举水、巴河等发源于大别山的水系自东北流入盆地;陆水和汨罗江自东南流入盆地;清江、澧水、沅江、资水和湘江自西和南部注入盆地。这些河流的长度(图 2A)和流域面积(图 2B)与年均径流量(图 2C)和年均输沙量(图 2D)存在明显的正相关关系。在宜昌段长江及其以上的主要支流中,金沙江、嘉陵江和长江成为江汉盆地西部主要的泥沙输入河流(林旭等, 2022)。汉江成为江汉盆地北部年均输沙量最多的河流。江汉盆地南部和西南部的泥沙主要来自湘江和沅江。来自大别山和幕府山的河流,由于河流长度短、流域面积小,对江汉盆地的泥沙供给量少。

2 样品采集与分析方法

2.1 样品采集

本文对江汉盆地四周的主要汇入河流进行了碎屑样品采集工作。采样点集中于河流下游干流河漫滩、枯水季河床。在每个采样点采样时刮开新鲜表面,避免后期人为或风沙沉积的混染,每件样品采集 3~5 kg。具体采样信息见表 1。

2.2 分析方法

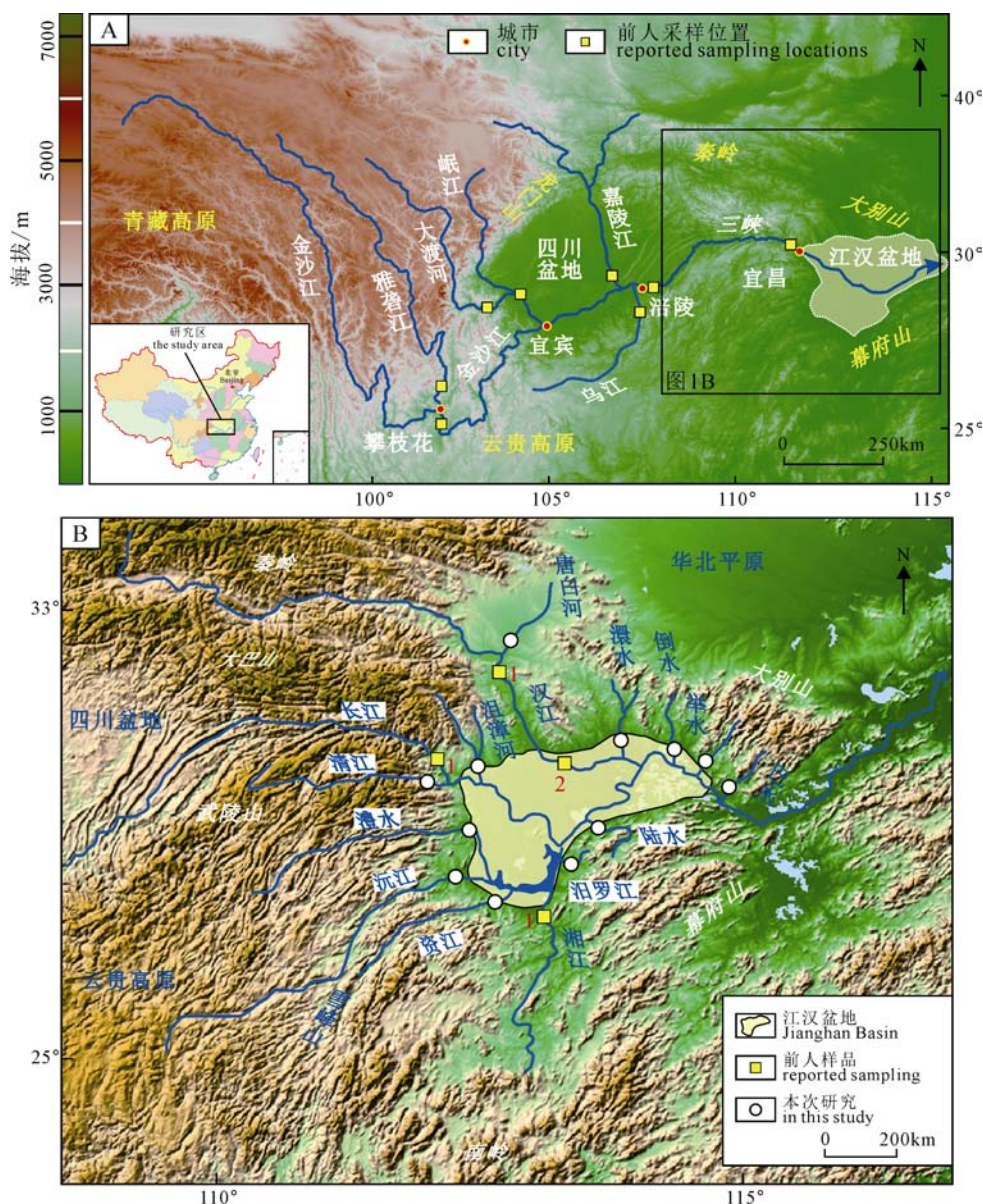
将野外采集的河流碎屑样品经重砂分析、磁性分选等一系列过程,分离出锆石颗粒,并在双目显微镜下进行人工挑选提纯。每个样品随机挑选 300 颗锆石制成环氧树脂靶,同时对靶片进行表面抛光和阴极发光(CL)图像拍摄。完成上述步骤后,在南

京宏创地质勘查微区分析实验室,使用激光剥蚀-电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICPMS)对碎屑锆石边部进行 U-Pb 年龄分析。采用 5 个激光脉冲对每个剥蚀区域进行预剥蚀(剥蚀深度 $\sim 0.3\ \mu\text{m}$),以去除样品表面可能的污染。在束斑直径 $30\ \mu\text{m}$ 、剥蚀频率 $5\ \text{Hz}$ 、能量密度 $2\ \text{J}/\text{cm}^2$ 的激光条件下分析样品。数据处理采用 Iolite 程序(Paton et al., 2010), 锆石 91500 作为校正标样, GJ-1 作为监测标样, 每隔 10~12 个样品点分析 2 个 91500 标样及一个 GJ-1 标样。通常采集 20 秒的气体空白, 35~40 秒的信号区间进行数据处理, 按指数方程进行深度分馏校正。以 NIST 610 作为外标, 91Zr 作为内标计算微量元素含量。本次实验过程中测定的 91500 ((1061.5 $\pm$ 3.2) Ma,

2 σ)、GJ-1 ((604 $\pm$ 6) Ma, 2 σ)年龄在不不确定范围内与推荐值一致。选择 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (年龄 $< 1000\ \text{Ma}$)与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 或 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (年龄 $> 1000\ \text{Ma}$)谐和度在 90%~99%之间的结果。锆石样品的 U-Pb 年龄计算采用 Isoplot/Ex_ver3 完成。基于 Kolmogorov-Smirnov (K-S)统计方法的多维判别图(MDS)用于辅助判别样品年龄的远近关系(Vermeesch et al., 2016)。

3 数据结果

本次研究对江汉盆地 12 件河流碎屑锆石样品, 进行了 960 颗锆石颗粒 U-Pb 年龄分析, 获得 922 颗合格的锆石年龄。所分析样品中的锆石呈



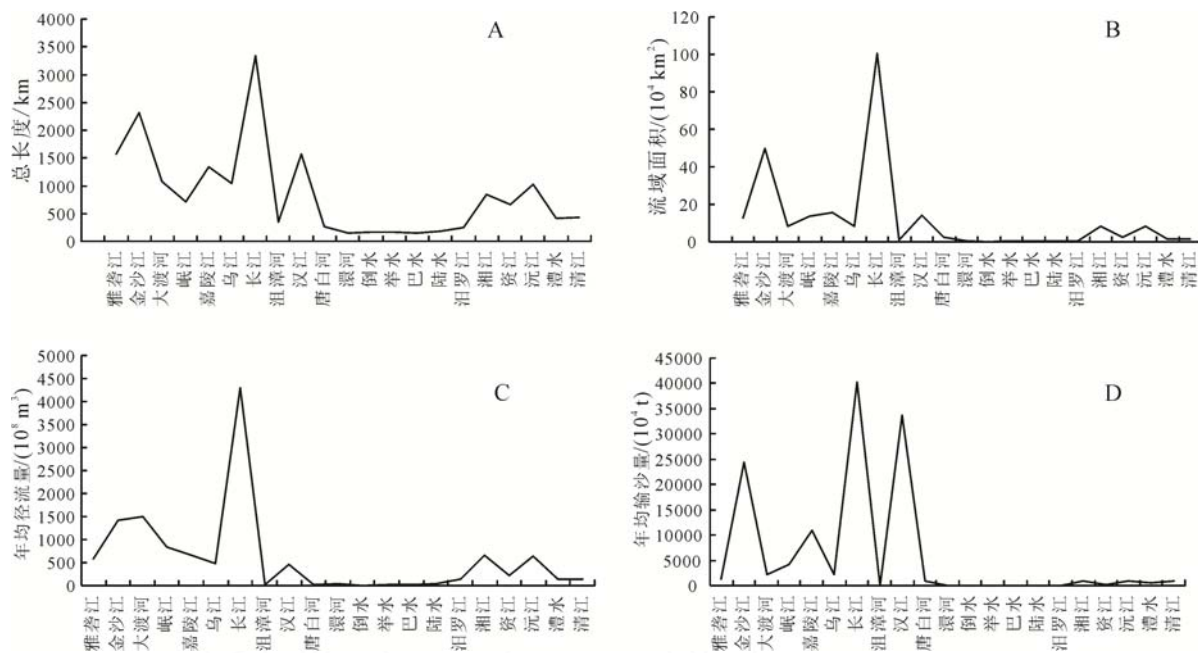
A—江汉盆地位置, 前人采样点位置引自 He et al.(2013a); B—江汉盆地采样点位置分布图,

数字 1 和 2 分别代表文献 He et al.(2013a)和 Liang et al.(2018)。

A—the location of Jianghan Basin, reported sampling points was retrieved from He et al.(2013a); B—location distribution of sampling points in Jianghan Basin, and the number of 1 and 2 represents He et al. (2013a) and Liang et al. (2018), respectively.

图 1 江汉盆地位置图

Fig. 1 Location map of Jianghan Basin



A—河流长度; B—流域面积; C—年均径流量; D—年均输沙量。
A—river length; B—watershed area; C—average annual runoff; D—average annual sediment discharge.
图 2 江汉盆地河流水文特征(数据来源于中华人民共和国水利部, 2019)
Fig. 2 Hydrological characteristics of rivers in Jiangnan Basin
(data after Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, 2019)

表 1 样品采集信息
Table 1 Collected sampling point information

河流	采样点	经度(E)	纬度(N)	数据来源
长江	宜昌	111°18'43"	30°39'49"	He et al. (2013)
沮漳河	当阳	111°44'56"	30°53'59"	本次研究
汉江 1	钟祥	113°25'57"	30°23'33"	He et al. (2013)
汉江 2	武汉	114°12'02"	30°35'12"	Liang et al. (2018)
唐白河	襄阳	112°18'36"	32°07'45"	本次研究
渭河	孝昌	113°57'47"	31°14'58"	本次研究
倒水	李集	114°40'08"	30°52'59"	本次研究
举水	新洲	114°45'42"	30°55'47"	本次研究
巴河	竹瓦	115°06'11"	30°38'33"	本次研究
陆水	赤壁	113°51'34"	29°44'56"	本次研究
汨罗江	汨罗	113°08'54"	28°47'30"	本次研究
湘江	衡阳	112°56'55"	28°08'21"	He et al. (2013)
资江	桃江	112°11'49"	28°36'09"	本次研究
沅江	武陵	111°38'27"	28°59'38"	本次研究
澧水	澧县	111°49'55"	29°37'23"	本次研究
清江	宜都	107°29'06"	29°32'55"	本次研究

圆状和次圆状以及棱角状(图 3)。锆石粒径大小出现明显差异, 具有振荡环带的锆石居多, 此次分析的大部分锆石 Th/U 比值 > 0.1 (图 4), 说明这些锆石以岩浆成因为主。

宜昌段长江干流的碎屑锆石 U-Pb 峰值年龄包含: 202 Ma、838 Ma、1826 Ma 和 2408 Ma (He et al., 2013a, 图 5A)。清江样品出现多个峰值年龄:

170 Ma、218 Ma、626 Ma、958 Ma、1872 Ma 和 2490 Ma(图 5B)。沮漳河样品的峰值年龄由中生代(134 Ma、211 Ma)和新元古代(770 Ma)组成(图 5C)。汉江 1 的峰值年龄包含: 216 Ma、452 Ma 和 780 Ma (He et al., 2013a, 图 5D)。唐白河样品的峰值年龄以中生代(147 Ma、217 Ma、442 Ma)和新元古代(784 Ma)为主(图 5E), 这与汉江 2 的峰值年龄相近: 148 Ma、214 Ma、444 Ma 和 741 Ma (Liang et al., 2018, 图 5F)。大别山的潯水(134 Ma、211 Ma、808 Ma, 图 5G)、倒水(131 Ma、237 Ma、794 Ma, 图 5H)、举水(135 Ma、232 Ma、834 Ma, 图 5I)和巴水(134 Ma、226 Ma、803 Ma, 图 5J)的峰值年龄组成相似, 主要以中生代和新元古代为主。幕府山的陆水(151 Ma, 图 5K)和汨罗江(152 Ma, 图 5L)的峰值年龄以中生代为主。沅江的峰值年龄包含: 180 Ma、222 Ma、826 Ma、2042 Ma 和 2500 Ma(图 5M)。资江的峰值年龄由中生代(226 Ma、427 Ma)和新元古代(809 Ma)组成(图 5N)。湘江的峰值年龄: 150 Ma、220 Ma、432 Ma、785 Ma、979 Ma、1861 Ma 和 2514 Ma(图 5O)。澧水的峰值年龄包含: 220 Ma、456 Ma、1003 Ma、1448 Ma 和 2568 Ma(图 5P)。

4 讨论

长江经三峡自西向东进入江汉盆地, 是江汉盆地所有流入河流中年均输沙量(4.0×10^8 t)最大的河流, 锆石 U-Pb 年龄峰值复杂(图 6A); 同时宜昌段

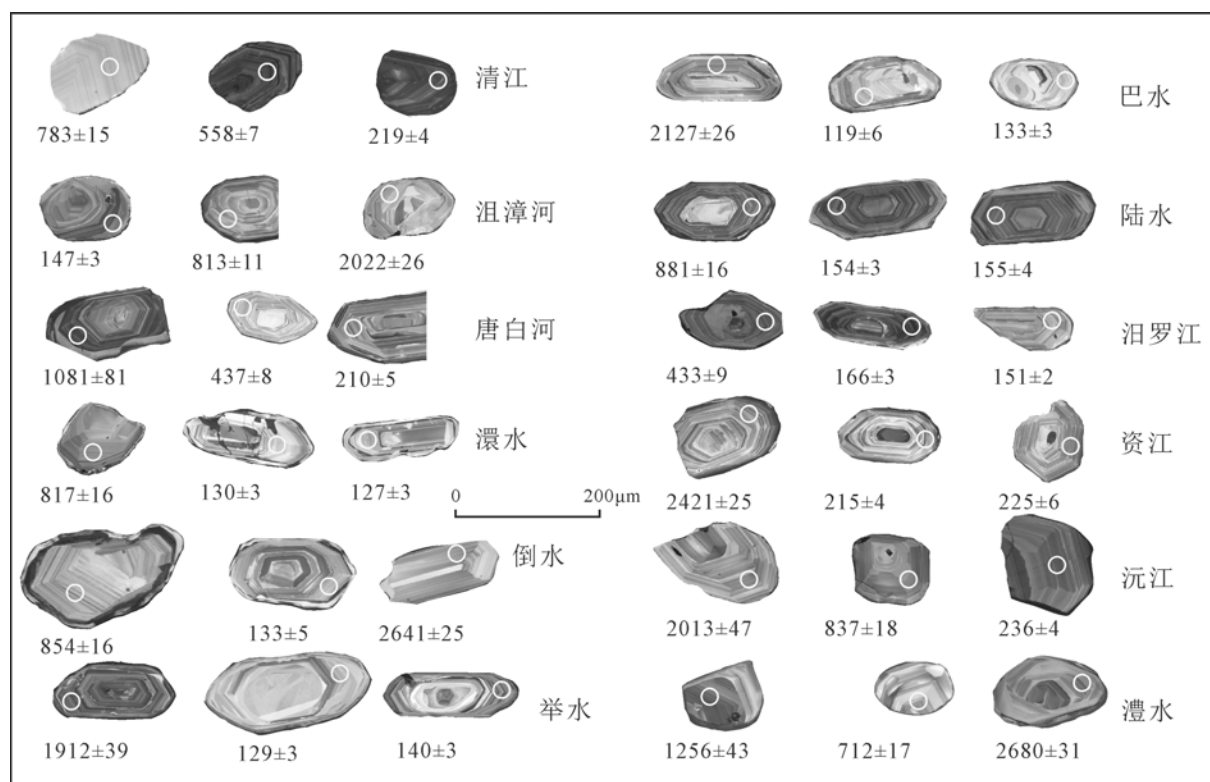


图 3 锆石 CL 图(年龄单位: Ma)

Fig. 3 CL images of zircon grains from Jianghan Basin (age/Ma)

以上的长江支流的河流长度、流域面积和年均输沙量都要超过江汉盆地近源的诸多河流,因而在将其与江汉盆地近源碎屑锆石 U-Pb 年龄特征进行对比分析之前,有必要对其碎屑锆石 U-Pb 年龄特征进行讨论。雅砻江(图 6B)是金沙江的主要支流,其河流碎屑锆石 U-Pb 年龄组成与金沙江十分相似,所不同的是金沙江具有新生代峰值年龄(30 Ma, 图 6C)。大渡河(图 6D)是岷江(图 6E)的重要支流,二者的碎屑锆石 U-Pb 峰值年龄组成以中生代(206 Ma、205 Ma)和新元古代(780 Ma、823 Ma)为主。总体来看,这四条河流与宜昌段的长江干流(图 6A)相比都缺乏古元古代和新太古代峰值年龄。嘉陵江(图 6F)和乌江(图 6G)的锆石 U-Pb 峰值年龄组成相似,相比雅砻江、金沙江、大渡河和岷江而言,它们的峰值数量变多,这和涪陵段长江(图 6H)的锆石 U-Pb 峰值年龄组成一致。而涪陵段长江和宜昌段长江的锆石 U-Pb 峰值年龄组成相似。在图 7A 中,可以看到雅砻江和金沙江,大渡河和岷江,嘉陵江、乌江和涪陵彼此间的锆石 U-Pb 年龄 MDS 判断距离相近。因而,考虑到年均径流量(图 2C)和年均输沙量(图 2D)的影响,宜昌段长江干流的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成主要受嘉陵江的影响。石英宇成核素 ^{10}Be 物源示踪和地表侵蚀速率结果表明,金沙江流域的侵蚀速率较低,长江上游干流物质主要来自嘉陵江、大渡河和岷江(Chappell et al., 2006); 重矿物组

合和主成分分析结果表明嘉陵江成为长江上游干流碎屑物质的主要输送河流(Vezzoli et al., 2016)。长江上游黏土矿物物源示踪结果表明,大渡河、嘉陵江、岷江对长江干流的物质贡献大(He et al., 2013b)。林旭等(2022)通过对宜昌以上长江干支流进行的碎屑磷灰石原位地球化学分析,结果表明嘉陵江成为丰都段长江碎屑物质的主要供给河流。因而将长江上游支流(雅砻江、金沙江、大渡河、岷江)的锆石 U-Pb 年龄组成与江汉盆地的钻孔和沉积地层进行对比,开展长江演化研究时,需要考虑因搬运距离远的影响,宜宾以上金沙江干支流物质信号衰减的情况。

通过对比可以看到(图 5A, B, C),清江流域的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成要比长江和沮漳河的都复杂。而沮漳河在具有晚中生代(134 Ma)峰值年龄的同时,其古元古代和新太古代峰值年龄不明显。因而,利用上述河流的碎屑锆石 U-Pb 年龄谱对比,可以有效约束江汉盆地西部中—新生代地层的物源信息。汉江(图 2D)是江汉盆地流入河流中,年均输沙量($3.4 \times 10^8 \text{ t}$)仅次于长江的大河,是江汉盆地重要的碎屑物质供给河流。唐白河是汉江东部主要支流,通过对比发现(图 5D, E, F),汉江 1 和唐白河、汉江 2 的碎屑锆石 U-Pb 峰值年龄组成的差别在于,前者缺乏晚中生代峰值年龄。但总体来看,汉江下游不同河段的碎屑锆石 U-Pb 峰值年龄组成基本一致,与宜昌段长江干流相比,它们的古元代和新太古代

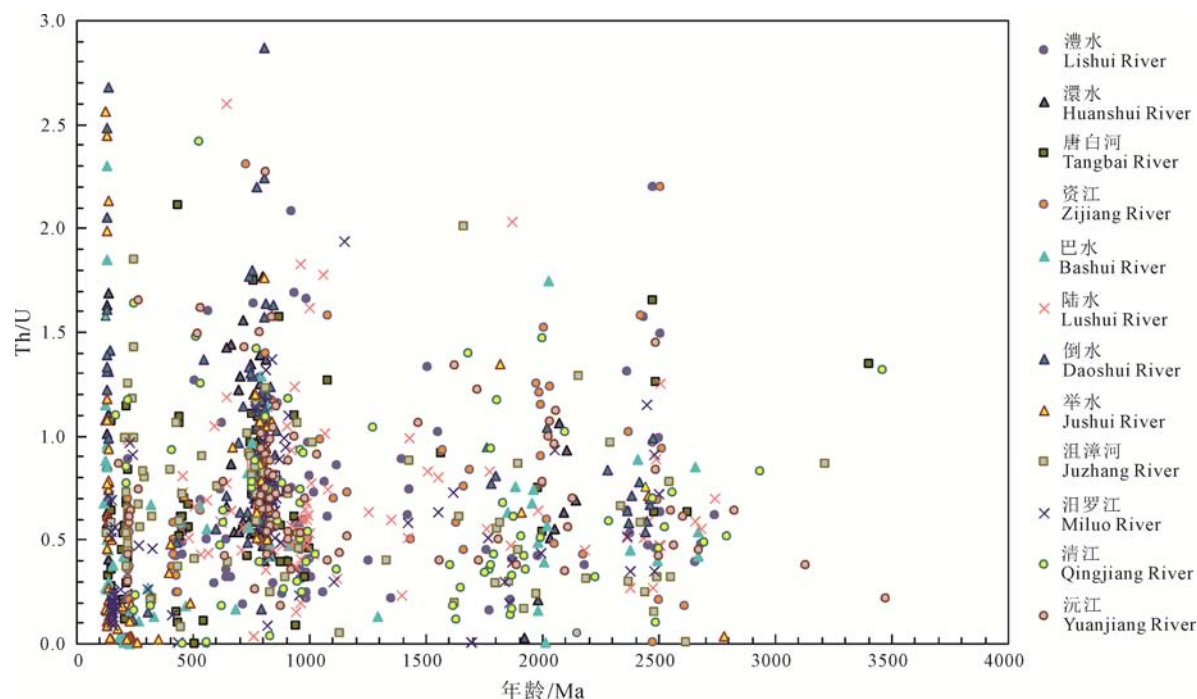
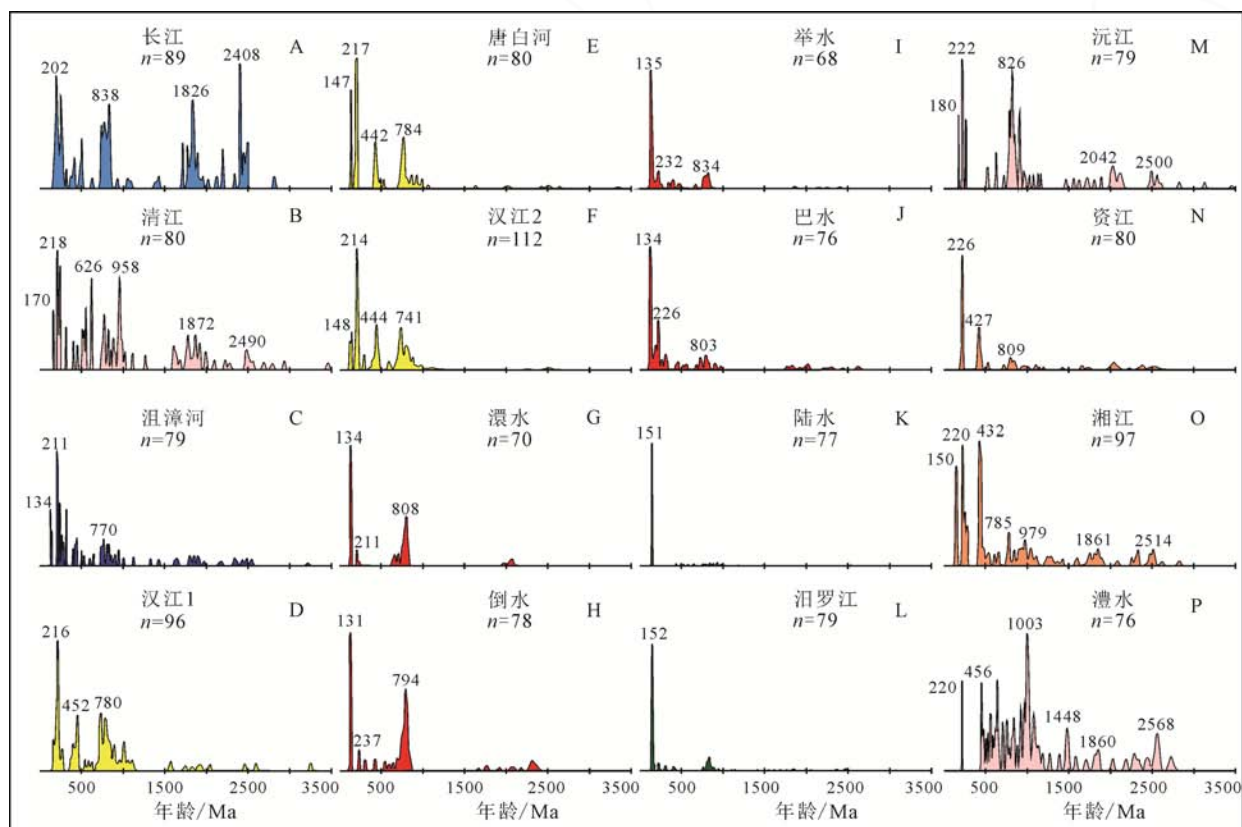


图 4 江汉盆地河流碎屑锆石 U-Pb 年龄与 Th/U 二维散点图

Fig. 4 Two-dimensional scatter plots of U-Pb age and Th/U ratio of river detrital zircons from Jiangnan Basin



A—长江(宜昌); B—清江; C—沮漳河; D—汉江 1; E—唐白河; F—汉江 2; G—灈水; H—倒水; I—举水; J—巴水; K—陆水; L—汨罗江; M—沅江; N—资江; O—湘江; P—澧水;

长江、汉江 1、湘江数据引用自 He et al.(2013a), 汉江 2 引用自 Liang et al.(2018)。

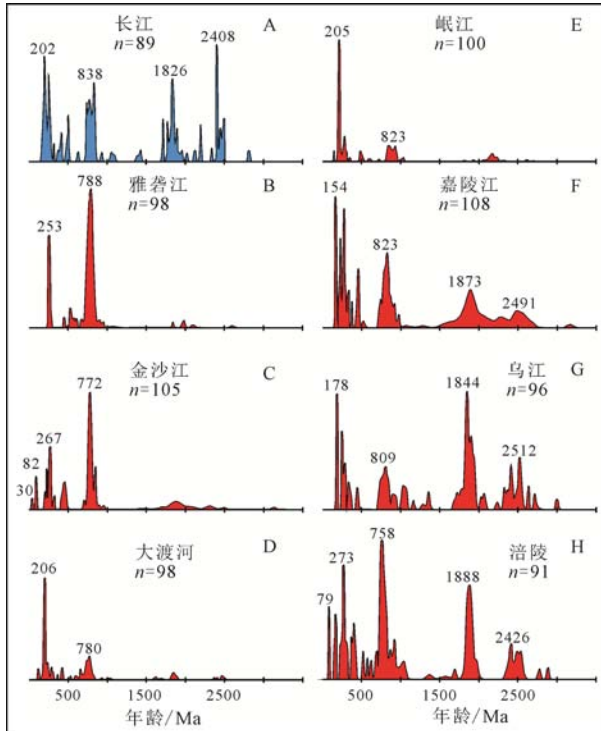
A—the Yangtze River (Yichang); B—Qingjiang River; C—Juzhang River; D—Hanjiang River 1; E—Tangbai River; F—Hanjiang River 2; G—Huanshui River; H—Daoshui River; I—Jushui River; J—Bashui River; K—Lushui River; L—Miluojiang River; M—Yuanjiang River; N—Zijiang River; O—Xiangjiang River; P—Lishui River;

Data of the Yangtze River, Hanjiang River 1, Xiangjiang River are cited from He et al.(2013a), the data of Hanjiang River 2 are cited from Liang et al.(2018).

图 5 锆石 U-Pb 年龄频率分布图

Fig. 5 U-Pb age frequency distribution of zircons

峰值年龄不明显。在 MDS 判断图中, 汉江流域也形成自己的分布区域。因而, 对于江汉盆地两条最重要的输沙河流而言, 碎屑锆石 U-Pb 年龄谱对比, 可以有效区分这两条河流。发源于大别山的潯水、倒水、举水和巴水的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成相似(图 5G, H, I, J), 其晚中生代(135~131 Ma)峰值年龄要比



A—长江(宜昌); B—雅砻江; C—金沙江; D—大渡河;

E—岷江; F—嘉陵江; G—乌江; H—长江(涪陵)。

A—the Yangtze River(Yichang); B—Yalongjiang River;

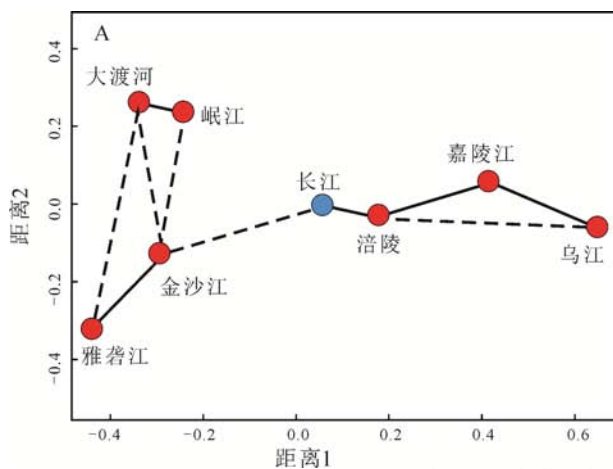
C—Jinshajiang River; D—Dadu River; E—Minjiang River;

F—Jialing River; G—Wujiang River; H—the Yangtze River(Fuling).

图 6 锆石 U-Pb 年龄频率分布图

(数据引用自 He et al., 2013a)

Fig. 6 U-Pb age frequency distribution of zircons (data is from He et al., 2013a)



A—长江干支流; B—江汉盆地河流。

A—stream and main tributaries of the Yangtze River basin; B—main rivers of Jiangnan Basin.

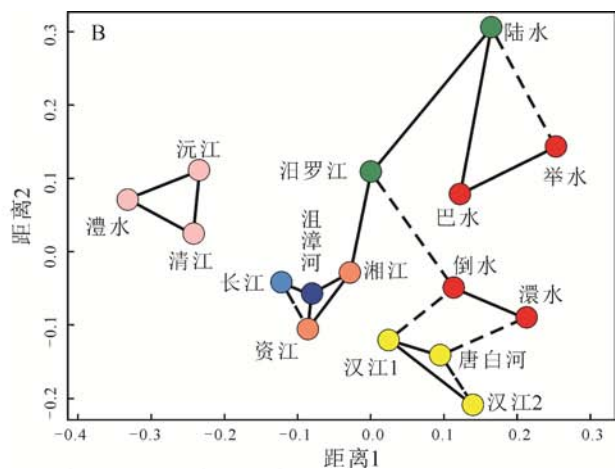
图 7 锆石 U-Pb 年龄之间的 K-S 距离 MDS 图

Fig. 7 Multi-dimensional scaling map showing the relationship between samples based on Kernel density statistic of the zircon ages

汉江的年轻(148 Ma、147 Ma); 同时其早古生代峰值年龄不明显, 但汉江流域这一峰值年龄(452~442 Ma)很明显。大别山的河流碎屑锆石 U-Pb 峰值年龄组成与长江的差异明显, 所以该方法可以有效用于限定大别山前缘堆积的阳逻砾石层的物源示踪研究。发源于幕府山的陆水和汨罗江的碎屑锆石 U-Pb 峰值年龄组成是本次所有流域中最简单的(图 5K, L), 主要由中生代峰值年龄(152 Ma、151 Ma)组成, 这与长江和汉江, 以及大别山的河流明显不同。沅江与资江和湘江比较(图 5M, N, O), 沅江的早古生代峰值年龄不明显, 但后者都具有这一峰值年龄(432~427 Ma)。在 MDS 判断图中, 沅江与清江、澧水的距离较近, 形成特定的分布区域, 而与资江和湘江的距离较远。因而在讨论江汉盆地南部的河流演化与盆地耦合研究时, 通过碎屑锆石 U-Pb 年龄谱对比, 可以区分武陵山和江南造山带、幕府山的物质信号。

5 结论

通过对江汉盆地流入河流碎屑锆石 U-Pb 年龄分析, 结合 MDS 判断图, 研究结果表明: 长江、沮漳河和清江的碎屑锆石 U-Pb 峰值年龄组成存在差异, 可以将其用于江汉盆地西部中—新生代沉积地层的物源示踪研究; 作为江汉盆地输沙量最大的两条河流, 长江和汉江的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成存在差异, 可以有效用于研究江汉盆地北部的河流演化和盆地耦合; 大别山的河流同时与汉江和长江的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成存在差异, 可以将其用于研究大别山山前阳逻砾石层的物质来源; 发源于幕府山的陆水和汨罗江的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成与长江和湘江的不同, 这在探讨江汉盆地东南缘的



盆山耦合和河流演化时,将具有很好的运用前景;武陵山的清江、澧水和沅江的碎屑锆石 U-Pb 年龄组成与湘江、资江的存在差异,为研究江汉盆地南部的河流演化提供了潜在可行性。

Acknowledgements:

This study was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41972212).

参考文献:

- 林旭,刘静. 2019. 江汉和洞庭盆地与周缘造山带盆山耦合研究进展[J]. 地震地质, 41(2): 499-520.
- 林旭,刘海金,吴中海,刘维明,张洋,陈济鑫. 2021. 宜昌第四纪砾石层钾长石主、微量元素物源研究及其地质意义[J]. 地质力学学报, 27(6): 1024-1034.
- 林旭,陈济鑫,吴中海,刘海金,张洋. 2022. 现代河流碎屑磷灰石原位地球化学分析: 对长江物源示踪研究的启示[J]. 沉积学报, 待刊.
- 苏建超,李长安,吴中海,林旭,李亚伟,郭汝军. 2021. 江汉盆地周缘主要河流沉积物碎屑磷灰石的微量元素特征及其物源判别指标分析[J]. 地球学报, 42(5): 641-650.
- 杨守业. 2006. 亚洲主要河流的沉积地球化学示踪研究进展[J]. 地球科学进展, 21(6): 648-655.
- 杨建,李长安,张玉芬,康春国,邵磊. 2012. 江汉平原沉积物中含钛普通辉石对长江演化的示踪[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 37(S1): 43-49.
- 中华人民共和国水利部. 2019. 中国河流泥沙公报[M]. 中国水利水电出版社: 1-88.

References:

- CORFU F, HANCHAR J M, HOSKIN P W O, KINNY P. 2003. Atlas of zircon textures[J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53(1): 469-500.
- CLIFT P D, JONELL T N. 2021. Monsoon controls on sediment generation and transport: Mass budget and provenance constraints from the Indus River catchment, delta and submarine fan over tectonic and multimillennial timescales[J]. Earth-Science Reviews, 220: 103682, doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103682.
- CHAPPELL J, ZHENG H B, FIFIELD K. 2006. Yangtze River sediments and erosion rates from source to sink traced with cosmogenic ^{10}Be : Sediments from major rivers[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 241(1): 79-94.
- DENG B, CHEW D, MARK C, LIU S G, COGNÉ N, JIANG L, O'SULLIVAN G, LI Z W, LI J X. 2021. Late Cenozoic drainage reorganization of the paleo-Yangtze river constrained by multi-proxy provenance analysis of the Paleo-lake Xigeda[J]. Geological Society of America Bulletin, 133(1/2): 199-211.

- FU Xiao-wei, ZHU Wei-lin, GENG Jian-hua, Yang Shou-ye, ZHONG Kai, HUANG Xiang-tong, ZHANG Lu-yao, XU Xi. 2021. The present-day Yangtze River was established in the late Miocene: Evidence from detrital zircon ages[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 205: 104600.
- HE M Y, ZHENG H B, CLIFT P D. 2013a. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotope data from the Yangtze River sands: Implications for major magmatic events and crustal evolution in Central China[J]. Chemical Geology, 360-361: 186-203.
- HE Meng-ying, ZHENG Hong-bo, HUANG Xiang-tong, JIA Jun-tao, LI Ling. 2013b. Yangtze River sediments from source to sink traced with clay mineralogy[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 69: 60-69.
- LI Ya-wei, ZHAO Ju-xing, LI Chang-an, WEI Chuan-yi, ZHANG Yu-fen, GUO Ru-jun, LENG Yong-hui, JIANG Hua-jun. 2021. Cadmium and clay mineral analysis of late Pliocene—Pleistocene deposits from Jiangnan Basin, central China: Implications for sedimentary provenance and evolution of the Yangtze River[J]. Quaternary International, 598: 1-14, doi.org/10.1016/j.quaint.2021.04.009.
- LIANG Zheng-wei, GAO Shan, HAWKESWORTH C J, WU Yuan-bao, STOREY C D, ZHOU Lian, LI Ming, HU Zhao-chu, LIU Yong-sheng, LIU Xiao-ming. 2018. Step-like growth of the continental crust in South China: evidence from detrital zircons in Yangtze River sediments[J]. Lithos, 320-321: 155-171.
- LIN Xu, LIU Jing. 2019. A review of mountain-basin coupling of Jiangnan and Dongting Basins with their surrounding mountains[J]. Seismology and Geology, 41(2): 499-520(in Chinese with English abstract).
- LIN Xu, LIU Hai-jin, WU Zhong-hai, LIU Wei-ming, ZHANG Yang, CHEN Ji-xin. 2021. Provenances study on geochemical elements of detrital K-feldspar in Quaternary gravel layer in Yichang and its geological significance[J]. Journal of Geomechanics, 27(6): 1024-1034(in Chinese with English abstract).
- LIN Xu, CHEN Ji-xin, WU Zhong-hai, LIU Hai-jin, ZHANG Yang. 2022. In-situ geochemical analysis of modern fluvial detrital apatite: implications for provenance tracing studies in the Yangtze River[J]. Acta Sedimentologica Sinica, in press (in Chinese with English abstract).
- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. 2019. Chinese River Sediment Bulletin[M]. China Water & Power Press: 1-88(in Chinese).
- PATON C, WOODHEAD J D, HELLSTROM J C, HERGT J M, GREIG A, MAAS R. 2010. Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction[J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 11(3):

- 1-36.
- SU Jian-chao, LI Chang-an, WU Zhong-hai, LIN Xu, LI Ya-wei, GUO Ru-jun. 2021. Detrital apatite trace element characteristics of main rivers around Jiangnan Basin and an analysis of their provenance discriminant indicators[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(5): 641-650(in Chinese with English abstract).
- SHAO Lei, LI Chang-an, YUAN Sheng-yuan, KANG Chun-guo, WANG Jie-tao, LI Ting. 2012. Neodymium isotopic variations of the late Cenozoic sediments in the Jiangnan Basin: Implications for sediment source and evolution of the Yangtze River[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 45: 57-64.
- SHAO Lei, YUAN Sheng-yuan, LI Chang-an, KANG Chun-guo, ZHU Wen-jing, LIU Yin-di, WANG Jie-tao. 2015. Changing provenance of late Cenozoic sediments in the Jiangnan Basin[J]. *Geoscience Frontiers*, 6(4): 605-615.
- VERMEESCH P, RESENTINI A, GARZANTI E. 2016. An R package for statistical provenance analysis[J]. *Sedimentary Geology*, 336: 14-25.
- VEZZOLI G, GARZANTI E, LIMONTA M, ANDÒ S, YANG S Y. 2016. Erosion patterns in the Changjiang (Yangtze River) catchment revealed by bulk-sample versus single-mineral provenance budgets[J]. *Geomorphology*, 261: 177-192.
- WANG Jie-tao, LI Chang-an, YANG Yong, SHAO Lei. 2010. Detrital zircon geochronology and provenance of core sediments in Zhoula Town, Jiangnan plain, China[J]. *Journal of Earth Science*, 21(3): 257-271.
- WEI Chuan-yi, VOINCHET P, ZHANG Yu-fen, BAHAIN J J, LIU Chun-ru, KANG Chun-guo, YIN Gong-ming, SUN Xi-lin, LI Chang-an. 2020. Chronology and provenance of the Yichang Gravel Layer deposits in the Jiangnan Basin, middle Yangtze River Valley, China: Implications for the timing of channelization of the Three Gorges Valley[J]. *Quaternary International*, 550: 39-54.
- WU Lu-lu, MEI Lian-fu, PATON D A, LIU Yun-sheng, GUO Peng-yuan, SHEN Chuan-bo, LIU Zhao-qian, LUO Jin, MIN Cai-zheng, LI Ming-hua. 2020. Late Cretaceous-Cenozoic intraplate extension and tectonic transitions in eastern China: Implications for intraplate geodynamic origin[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 117: 104379.
- YANG Shou-ye. 2006. Advances in sedimentary geochemistry and tracing applications of Asian Rivers[J]. *Advances in Earth Science*, 21(6): 648-655(in Chinese with English abstract).
- YANG S Y, WANG Z B, GUO Y, LI C X, CAI J G. 2009. Heavy mineral compositions of the Changjiang (Yangtze River) sediments and their provenance-tracing implication[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(1): 56-65.
- YANG Jian, LI Chang-an, ZHANG Yu-fen, KANG Chun-guo, SHAO Lei. 2021. Ti-Augite in sediments of the Jiangnan Plain as tracing mineral: implication for the evolution of the Yangtze River[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(S1): 43-49(in Chinese with English abstract).
- YANG Chao-qun, SHEN Chuan-bo, ZATTIN M, YU Wu, SHI Shao-xian, MEI Lian-fu. 2019. Provenances of Cenozoic sediments in the Jiangnan Basin and implications for the formation of the Three Gorges[J]. *International Geology Review*, 61(16): 1980-1999.
- YANG Chao-qun, SHEN Chuan-bo, ZATTIN M, YU Wu. 2021. Formation of the Yangtze Three Gorges: Insights from detrital apatite fission-track dating of sediments from the Jiangnan Basin[J]. *Terra Nova*, 33(5): 511-520.
- ZHANG Yu-fen, LI Chang-an, WANG Qiu-liang, CHEN Liang, MA Yong-fa, KANG Chun-guo. 2008. Magnetism parameters characteristics of drilling deposits in Jiangnan Plain and indication for forming of the Yangtze River Three Gorges[J]. *Chinese Science Bulletin*, 53(4): 584-590.
- ZHENG H B, CLIFT P D, WANG P, TADA R, JIA J T, HE M Y, JOURDAN F. 2013. Pre-Miocene birth of the Yangtze River[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(19): 7556-7561.