

文章编号: 1008-2786-(2017)4-000-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000244

青弋江泾县段最高阶地的 ESR 年代及其构造气候意义

胡晨琦^{1,2} 胡春生^{1,2*} 刘永婷^{1,2} 刘邵晨^{1,2} 徐光来^{1,2}

(1. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241000; 2. 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室, 安徽 芜湖 241000)

摘 要: 青弋江是长江下游最大的一条支流, 发源于安徽省黄山北麓。野外考察发现青弋江在泾县段共发育了三级河流阶地, 其中最高阶地(T3)存在两个天然剖面, 即 CB-T3 剖面 and SJ-T3 剖面。运用电子自旋共振(ESR)测年法, 并结合相关文献资料, 确定青弋江泾县段最高阶地的形成年代并探讨其构造气候意义。研究表明: 青弋江泾县段最高阶地的年代约 900 ka B. P., 是早中更新世过渡时期河流作用的产物; 青弋江泾县段 900 ka B. P. 阶地可能是构造抬升和东亚夏季风变化共同作用下的产物, 其中构造抬升为阶地的形成提供了河流下切的动力条件, 而东亚夏季风的强度变化为阶地的形成提供了气候条件。研究结果有助于为长江中下游地区的河流地貌研究提供基础数据和参考资料。

关键词: 河流阶地; ESR 测年; 900 ka B. P.; 泾县; 青弋江

中图分类号: P931.1

文献标志码: A

河流系统是塑造地貌形态的重要外营力^[1-2], 其中河流阶地是河流系统的重要组成部分。河流阶地是在气候变化、构造运动、基准面变化及河流内部动力变化的共同作用下形成的, 并以地貌和沉积物的形式记录了在河流系统形成和演化过程中对外部和内部环境变化的响应情况^[3]。河流阶地对外部因素的变化反应敏感, 区域或局部的构造抬升、气候变化及由此引起的河流水量和泥沙量的变化都有可能使河流下切而形成阶地^[4]。因此, 研究河流阶地对反映区域古气候变化和新构造运动具有重要意义。当前我国有关河流阶地的研究主要集中于河流中上游及西部地区^[4-9], 例如兰州阶地因其研究的深度和典型性被称为“兰州式阶地”^[10-12]。然而, 我国东部地区河流阶地研究的广度和深度都逊色很多^[13-15]。究其原因, 一方面大江大河下游地区自然

形成的河流阶地较少; 另一方面受季风气候和人类活动的影响, 河流阶地遭受后期侵蚀和破坏的程度较高。

青弋江是长江下游地区的一条右岸支流, 目前关于青弋江流域河流阶地的研究较少^[16-17], 且以定性描述为主, 缺少定量的测年数据。本文通过电子自旋共振(ESR)测年方法, 分析青弋江泾县段最高阶地的年代, 并进一步结合文献资料探讨其构造气候意义, 为长江中下游地区的河流地貌研究提供基础数据。

1 研究区及阶地剖面

1.1 研究区概况

青弋江发源于安徽省黟县黄山北麓, 是安徽省

收稿日期(Received date): 2016-06-27; 改回日期(Accepted date): 2016-11-16

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41301011) [National Natural Science Foundation of China (41301011)]

作者简介(Biography): 胡晨琦(1993-), 女, 江苏宜兴人, 硕士研究生, 主要研究方向: 河流地貌 [Hu chenqi(1993-), female, born in Yixing, Jiangsu province, M. Sc. candidate, research on river geomorphology] E-mail: 15651543423@sina.cn

* 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: 河流地貌与第四纪环境变化 [Hu Chunsheng(1978-), male, born in Wuwei, Anhui province, ph. D, associate professor, research on river geomorphology and quaternary environmental change] E-mail: huchsh03@163.com

境内同时也是长江下游最大的一条支流。青弋江干流全长 309 km,泾县县城以上为上游河段,泾县至南陵县西河镇为中游河段,西河镇以下为下游河段,于芜湖市区汇入长江,流域面积约 7195 km²。本文研究的实际区域是青弋江流经泾县部分,即青弋江泾县段(图 1),其流域面积约 2054 km²。

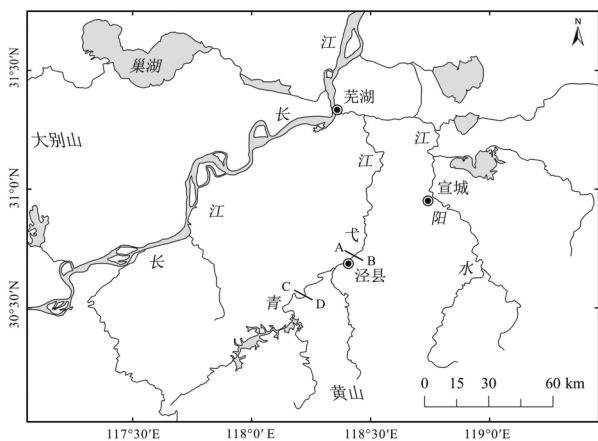


图 1 青弋江流域及研究区位置示意图,

AB 为城北阶地剖面,CD 为溪口阶地剖面

Fig. 1 Sketch map of the Qingyijiang River and the study area. AB denotes Chengbei terrace section, CD denotes Xikou terrace section

研究区属亚热带季风气候,年降水量约 1500 mm,年平均气温 16℃,气候温暖湿润。因地处我国亚热带季风区和温带季风区的过渡地带,决定了该区对环境变化的响应比较显著。同时,该区河流两岸发育有多级河流阶地^[16-17],是长江下游地区环境变化的重要河流地貌证据之一。

1.2 阶地剖面及其最高阶地

根据野外考察,青弋江泾县段共发育了三级阶地(T₁、T₂和T₃)。本文所研究的主要是青弋江泾县段的最高阶地(T₃阶地),该级阶地属于典型的基座型阶地(图 2)。研究区主要发现两个 T₃ 阶地剖面,即 CB-T₃ 阶地面和 SJ-T₃ 阶地面。其中,CB-T₃ 阶地面拔河 39 m,砾石层厚约 4.5 m,且砾石磨圆度较高,砾石网纹化,粉砂层缺失;在砾石层上部堆积了厚达 10.9 m 的第四纪红土堆积物,其中部和下部是典型的网纹红土(图 2 a)。而 SJ-T₃ 阶地面拔河 38 m,砾石层厚约 5 m,且砾石磨圆度较高,其上约 2 m 的粉砂层,再上是第四纪红土堆积物,厚约 3~7 m(图 2 b),属弱网纹红土。

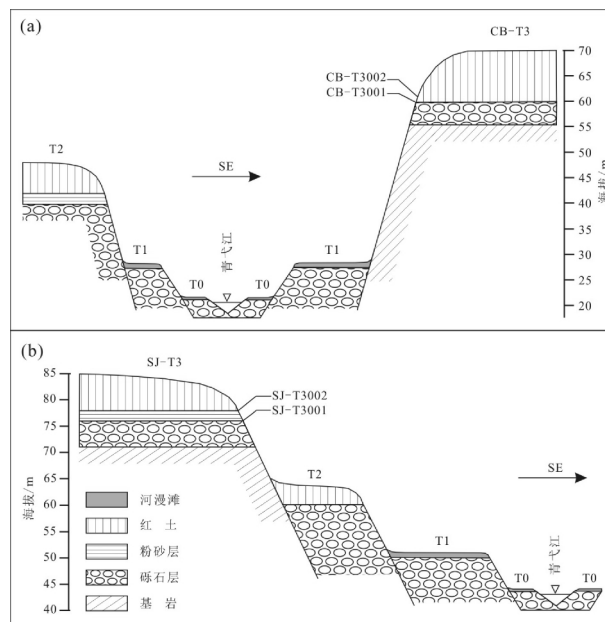


图 2 泾县青弋江阶地剖面及其最高阶地,

(a) 城北阶地剖面,(b) 溪口阶地剖面

Fig. 2 Terrace sections of the Qingyijiang River in Jingxian County and the topmost terraces

(a) Chengbei terrace section, (b) Xikou terrace section

2 ESR 测年方法及结果

2.1 采样与测试

由于 ESR 测年样品要求的特殊性,野外采集样品时要尽可能的避免阳光和灯光照射。本研究共采集了 4 个 ESR 测年样品。其中,样品 CB-T3002 来自 CB-T₃ 阶地剖面的上覆第四纪红土底部深度为 10.9 m 处,并在其上方 1.5 m 处采集了样品 CB-T3001;样品 SJ-T3002 和 SJ-T3001 则分别采集自 SJ-T₃ 阶地剖面的粉砂层底部和第四纪红土底部。采样时,首先自表层向内开挖约 50 cm,再用一根长 20 cm、直径 5 cm,一头用黑色塑料袋包裹的钢管垂直向内打入新鲜暴露面,待钢管内被填充紧实后拔出钢管,迅速用黑色塑料袋包裹另一头,并用锡纸将钢管整体包裹。为了确保最大程度的屏蔽光线,在实验室内分析样品时,只分析了每个钢管中间部分的样品。

ESR 测年实验在中国原子能科学研究院放射计量学中心完成,测试仪器为德国 Bruker 公司的 EXM 型 ESR 谱仪。实验室中,首先,样品经过低温干燥和物理研磨筛分,用化学分离技术提取石英颗粒。并依次用 H₂O₂ 去除有机质,稀 HCL 去除碳酸盐,用

HF 处理蚀刻、去除长石等 然后低温烘干获得石英颗粒。其次 用磁性分离器去除磁性矿物。最后 将每个样品分成等量的 10 份 接受来自⁶⁰Co的人工剂量辐照 范围在 0~8000 Gy。经过人工辐照后的样品在低温下运用 Ti-Li 测年信号对样品进行测试。样品所受的天然辐照剂量(TD) 即古剂量通过人工额外辐照和线性外推法获得; 样品的年剂量(D) 通过计算每个样品中 U、Th、K 等微量元素、样品的含水量及颗粒大小等获得。被测样品的古剂量值与所接受的年剂量的比值即被测样品的年龄。

2.2 最高阶地的 ESR 年龄

图 3 为 4 个 ESR 样品的古剂量指数拟合曲线 ,

其拟合结果如表 1。同时 ,表 1 列出了青弋江泾县段最高阶地剖面的 ESR 测年结果。其中 ,CB-T3 阶地剖面砾石层上覆的网纹红土底界年龄为 884.3 ± 274.9 ka B. P. ,而 SJ-T3 阶地剖面粉砂层的底界年龄为 905.4 ± 272.4 ka B. P. 、上覆网纹红土的底界年龄为 390.7 ± 71.2 ka B. P. 。根据阶地剖面的沉积次序 ,上覆网纹红土应晚于阶地形成 ,其底界年龄可视为阶地形成的最迟年龄 ,而粉砂层应早于阶地形成 ,其底界年龄则视为阶地形成的最早年龄。因此 ,青弋江泾县段最高阶地的年龄应介于最迟年龄和最早年龄之间 ,故其年龄应为 900 ka B. P. 前后 ,即为早中更新世过渡时期。

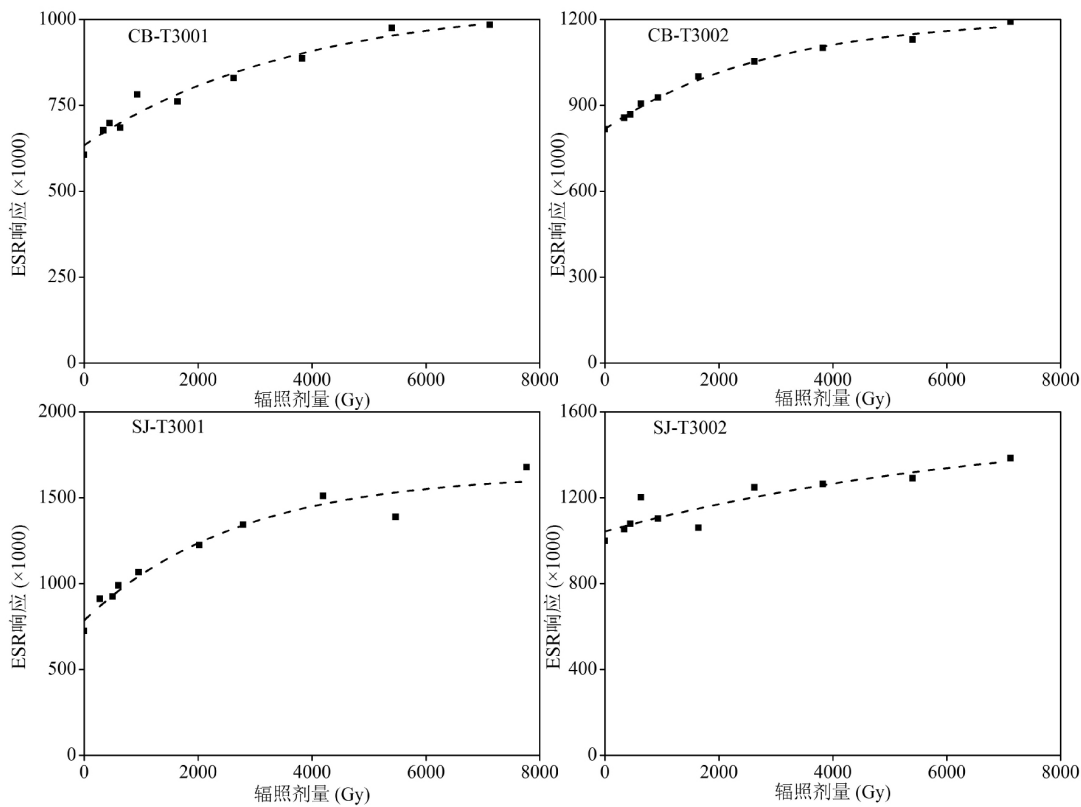


图 3 ESR 样品的古剂量指数拟合曲线

Fig.3 Paleodose curve of ESR samples fitted by exponential function

表 1 泾县段最高阶地的 ESR 测年数据

Tab.1 ESR dating of the topmost terraces of the Qingyijiang River in Jingxian county

阶地	样品编号	采样深度(m)	测年物质	古剂量 (Gy)	年剂量 (Gy/kyr)	ESR 年代 (ka B. P.)
CB-T3	CB-T3001	9.4	红土	3114 ± 322	3.71	839.9 ± 86.8
	CB-T3002	10.9	红土	3162 ± 983	3.58	884.3 ± 274.9
SJ-T3	SJ-T3001	3.0	红土	1552 ± 283	3.97	390.7 ± 71.2
	SJ-T3002	4.8	粉砂	4008 ± 1230	4.52	905.4 ± 272.4

针对长江中下游地区网纹砾石层的研究,前人已经做了比较深入的研究^[18-26](表2),为本研究提供了参考。例如,与本文研究区邻近的安徽宣城地区,其砾石层上覆黄色粉砂层底部的 ESR 测年结果为 817 ka B. P.^[18];同时,其红土研究表明长江中下游风尘堆积的底界年龄最晚不超过 850 ka B. P.^[19-20]。而武汉阳逻半边山剖面研究发现其砾石层形成于 900 ~ 1000 ka B. P.^[21-22]。江西修水、余江、九江地区的研究也表明,这些地区红土下伏砾石层的年龄在 769.4 ~ 1232 ka B. P. 之间^[23-26]。可见,本研究测年结果与前人在长江中下游其他地区的研究结果基本一致。因此,我们认为本研究 ESR 测年结果基本可信。

表 2 长江中下游地区网纹砾石层的测年数据

Tab. 2 Age data of the vermicular gravel beds in the middle and lower reaches of Yangtze River

剖面位置	测年方法	年龄(ka B. P.)	资料来源
安徽宣城	ESR, 古地磁	800 ~ 1000	[18 ~ 20]
武汉阳逻	TL, ESR	900 ~ 1000	[21 ~ 22]
江西修水	OSL	900 ~ 1000	[23 ~ 24]
江西余江	ESR	769.4	[25]
江西九江	古地磁, OSL	1232 ~ 869	[26]

3 分析与讨论

根据河流阶地 ESR 测年结果,青弋江泾县段最高阶地的年龄在 900 ka B. P. 前后,表明青弋江在 900 ka B. P. 前后发生了一次重要的下切事件。同时,在邻近的长江中下游的其他地区也相继发现了一些同期的河流阶地^[18-20, 24](表3)。可见,在 900 ka B. P. 前后发生的河流下切并不是一次孤立事件,而是在长江中下游地区普遍存在的河流下切事件,并由此发育了 900 ka B. P. 阶地。因此,我们推断长江中下游地区普遍存在的 900 ka B. P. 阶地,很可能是该区域河流对 900 ka B. P. 前后某次环境变化事件的集体地貌响应。

恰恰在 900 ka B. P. 前后,即早中更新世的过渡时期,地球环境发生了重要转变。深海沉积记录^[27-29]和陆相沉积记录^[30-31]均反映在该时期气候变化的频率及幅度发生了重大改变,气候变化主周期由此前的 41 ka 转变为 100 ka^[32],故称为“中更新世革命”(MPR, Mid-Pleistocene Revolution)^[33]。

表 3 长江中下游地区约 900 ka B. P. 阶地数据

Tab. 3 900 ka B. P. terraces in the middle and lower reaches of Yangtze River

剖面位置	阶地剖面	测年方法	年龄(ka B. P.)	资料来源
安徽宣城	水阳江二级阶地	ESR	1000 ~ 730	[18]
安徽宣城	水阳江二级阶地	古地磁测年	> 850	[19 ~ 20]
安徽繁昌	黄浒河一级阶地	古地磁测年	> 780	[20]
江西修水	修水河三级阶地	OSL, 古地磁测年	> 900	[24]

我国北方黄土研究也表明在 900 ka B. P. 前后东亚冬夏季风环流的强度同时显著加强,冰期间冰期气候反差加大^[34]。同时,根据长江中下游地区网纹红土的研究,发现其形成于早更新世晚期和中更新世早期^[35-37]。例如,九江典型网纹红土的底界年龄为 869 ka B. P.^[26]。江西修水网纹红土底部的年龄约为 900 ka B. P.^[23]。而南京老虎山剖面下部网纹红土开始形成于 1000 ka B. P.^[38]。一般认为网纹红土是在气候湿热且化学风化作用强盛的环境下形成的^[26]。可见,广泛发育的红土,表明长江中下游地区在 900 ka B. P. 前后气候转变为湿热环境,其时相对湿润,没有明显的干季,冬季降水也较丰沛,全年都处在东亚夏季风环流的控制之下,东亚夏季风环流处在极端强盛期^[39-40]。与此同时,青藏高原在 900 ka B. P. 前后快速隆升至约 3000 m,高原整体进入冰冻圈^[41-42],这次影响深远的运动称为“昆黄运动”^[43-44],奠定了我国自然地理环境的基本格局。此时长江中下游地区也发生了相应的构造事件,与研究区邻近的庐山地区发生了一次重要的区域构造抬升运动,并因此对长江中下游的区域环境产生了重大影响^[45]。

经典的河流阶地发育理论表明,河流阶地并非单一要素控制下形成的,其形成过程受到气候变化、构造运动、基准面变化及河流内部动力变化等因素的控制^[46-48],多级河流阶地的形成可能同时受到构造抬升和周期性气候变化的制约^[3]。并且构造抬升提供了河流阶地下切的动力,而气候变化则控制了河流阶地发育的时间^[46-48]。基于上述全球及区域的气候构造环境分析,我们认为青弋江及长江中下游地区的 900 ka B. P. 阶地,很可能正是该区河流对早中更新世之交环境转变的集体地貌响应,是地球在 900 ka B. P. 前后发生显著环境变化的河流地貌证据。其中,以庐山为代表的区域构造抬升为

本区 900 ka B. P. 阶地的形成提供了河流下切的动力条件,而以东亚夏季风环流的强度变化为代表的气候变化为阶地的形成提供了气候条件,并控制了河流下切的时间。因此,我们认为青弋江泾县段最高阶地综合反映了长江中下游地区在 900 ka B. P. 前后发生了显著的构造抬升和气候转变。

4 结论

(1) 通过对青弋江泾县段最高阶地(T3)的电子自旋共振(ESR)测年研究,确定其年龄约为 900 ka B. P.。这一时期长江中下游其他地区也发育了大量的同期河流阶地,表明在早中更新世之交长江中下游地区河流发生了一次普遍性的下切事件。

(2) 青弋江泾县段 900 ka B. P. 阶地是构造运动和气候变化共同作用下的产物,代表了长江中下游地区河流对早中更新世之交环境变化事件的地貌响应。构造抬升为阶地的形成提供了河流下切的动力条件,而东亚夏季风的强度变化为阶地的形成提供了气候条件。

参考文献(References)

- [1] 杨景春,李有利. 地貌学原理[M]. 北京:北京大学出版社,2001: 20 - 23 [YANG Jingchun, LI Youli. Principle of geomorphology [M]. Beijing: Peking University Press, 2001: 20 - 23]
- [2] 胡春生,周迎秋. 河流对 0.8 Ma B. P. 环境突变事件的地貌响应研究[J]. 地理科学, 2014, **34**(5): 614 - 619 [HU Chunsheng, ZHOU Yingqiu. Geomorphic response of the river to the environmental change event at 0.8 Ma B. P. [J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, **34**(5): 614 - 619]
- [3] 许刘兵,周尚哲. 河流阶地形成过程及其驱动机制再研究[J]. 地理科学, 2007, **27**(5): 672 - 677 [XU Liubing, ZHOU Shangzhe. Formation process and driving mechanisms of fluvial terrace [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, **27**(5): 672 - 677]
- [4] 高红山,潘保田,李吉均,等. 祁连山东段金塔河流域层状地貌时代与成因探讨[J]. 山地学报, 2005, **23**(3): 129 - 135 [GAO Hongshan, PAN Baotian, LI Jijun, et al. Age and genesis of the stepped geomorphic surfaces in Jinta River basin of the eastern Qilian Mountains [J]. Mountain Research, 2005, **23**(3): 129 - 135]
- [5] HU Z B, PAN B T, GUO L Y, et al. Rapid fluvial incision and headward erosion by the Yellow River along the Jinshaan gorge during the past 1.2 Ma as a result of tectonic extension [J]. Quaternary Science Reviews, 2016, 133: 1 - 14
- [6] 刘小丰,刘洪春,高红山,等. 渭河陇西段第七级阶地年代的确定及其构造意义[J]. 西北地震学报, 2010, **32**(2): 144 - 149 [LIU Xiaofeng, LIU Hongchun, GAO Hongshan, et al. Age of the 7th terrace of Weihe River in Longxi segment and its tectonic implication [J]. Northwestern Seismological Journal, 2010, **32**(2): 144 - 149]
- [7] LI J J, XIE S Y, KUANG M S. Geomorphic evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation [J]. Geomorphology, 2001, **41**(2-3): 125 - 135
- [8] 韩志勇,李徐生,任雪梅,等. 三峡库区长江阶地冲积物的年代测定[J]. 地理学报, 2006, **61**(11): 1200 - 1207 [HAN Zhiyong, LI Xusheng, REN Xuemei, et al. Dating of river terraces in the Three Gorges reservoir area [J]. Acta Geographica Sinica, 2006, **61**(11): 1200 - 1207]
- [9] MENG Y M, ZHANG J F, QIU W L, et al. Optical dating of the Yellow River terrace in the Mengjin area (China): First result [J]. Quaternary Geochronology, 2015, **30**: 219 - 225
- [10] 潘保田,苏怀,刘小丰,等. 兰州东盆地最近 1.2 Ma 的黄河阶地序列形成原因[J]. 第四纪研究, 2007, **27**(2): 172 - 180 [PAN Baotian, SU Huai, LIU Xiaofeng, et al. River terraces of the Yellow River and their genesis in eastern Lanzhou basin during last 1.2 Ma [J]. Quaternary Sciences, 2007, **27**(2): 172 - 180]
- [11] 潘保田,苏怀,胡春生,等. 兰州地区 1.0 Ma 黄河阶地的发现和 0.8 Ma 阶地形成时代的重新厘定[J]. 自然科学进展, 2006, **16**(11): 1411 - 1417 [PAN Baotian, SU Huai, HU Chunsheng, et al. Discovery of a 1.0 Ma Yellow River terrace and redating of the fourth Yellow River terrace in Lanzhou area [J]. Progress in Natural Science, 2006, **16**(11): 1411 - 1417]
- [12] 胡春生,潘保田,苏怀,等. 兰州盆地黄河 800 ka B. P. 阶地的发现及其古地磁年代[J]. 地理科学, 2009, **29**(2): 278 - 282 [HU Chunsheng, PAN Baotian, SU Huai, et al. Discovery and paleomagnetic dating of 800 ka B. P. terrace of the Yellow River in Lanzhou basin [J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, **29**(2): 278 - 282]
- [13] 袁家义,梁致荣,刘彝筠,等. 珠江三角洲Ⅱ级河流阶地的地质特征及其年代[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1990, **29**(4): 102 - 106 [YUAN Jiayi, LIANG Zhirong, LIU Yijun, et al. The geological features and the ages of second-order river terrace in Zhujiang River Delta [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 1990, **29**(4): 102 - 106]
- [14] 刘尚仁. 珠江三角洲及其附近地区河流阶地的分布与特征—广东河流阶地研究之二[J]. 热带地理, 2008, **28**(5): 400 - 410 [LIU Shangren. The distribution and characteristics of the river terraces in the Pearl River Delta and its nearby areas [J]. Tropical Geography, 2008, **28**(5): 400 - 410]
- [15] 雷生学,陈杰,刘进峰,等. 南京长江全新世河流阶地的年代及其意义[J]. 地震地质, 2011, **33**(2): 391 - 401 [LEI Shengxue, CHEN Jie, LIU Jinfeng, et al. The ages and implication of Yangtze River holocene terrace [J]. Seismology and Geology, 2011, **33**(2): 391 - 401]
- [16] 严庠生,黄志强. 皖南青弋江、水阳江地区第四纪沉积与环境变迁[J]. 徐州师范学院学报(自然科学版), 1991, **9**(1): 58 - 64 [YAN Xiangsheng, HUANG Zhiqiang. Quaternary

- sedimentation and paleoenvironmental changes of the Qingyi River area and the Shuiyang River area in the southern Anhui province [J]. *Journal of Xuzhou Teachers College*, 1991, **9**(1): 58–64
- [17] 严庠生. 皖南青弋江、水阳江地区地貌与新构造运动[J]. 南京师范专科学校学报, 1999, **15**(4): 118–124 [YAN Xiangsheng. Landforms and neotectonics of the Qingyi River area and the Shuiyang River area in the southern Anhui province [J]. *Journal of Nanjing Teachers College*, 1999, **15**(4): 118–124]
- [18] 杨浩, 赵其国, 李小平, 等. 安徽宣城风成沉积—红土系列剖面 ESR 年代学研究[J]. 土壤学报, 1996, **33**(3): 293–300 [YANG Hao, ZHAO Qiguo, LI Xiaoping, et al. ESR dating of eolian sediment and red earth series from Xuancheng profile in Anhui province [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1996, **33**(3): 293–300]
- [19] 乔彦松, 郭正堂, 郝青振, 等. 安徽宣城黄土堆积的磁性地层学与古环境意义[J]. 地质力学学报, 2002, **8**(4): 369–375 [QIAO Yansong, GUO Zhengtang, HAO Qingzhen, et al. Magentostratigraphy and paleoclimatic significance of an eolian sequence from the Xuancheng area, Anhui province [J]. *Journal of Geomechanics*, 2002, **8**(4): 369–375]
- [20] 乔彦松, 郭正堂, 郝青振, 等. 皖南风尘堆积—土壤序列的磁性地层学研究及其古环境意义[J]. 科学通报, 2003, **48**(13): 1465–1469 [QIAO Yansong, GUO Zhengtang, HAO Qingzhen, et al. Loess—soil sequences in southern Anhui province: Magentostratigraphy and paleoclimatic significance [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48**(13): 1465–1469]
- [21] 关康年, 黄宁生. 鄂东阳逻地区早更新世砾石层研究[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1993, **18**(5): 589–596 [GUAN Kangnian, HUANG Ningsheng. Study on early Pleistocene gravel beds in Yangluo area, east of Hubei province [J]. *Earth Science—Journal of China University Geosciences*, 1993, **18**(5): 189–596]
- [22] 梅惠, 李长安, 陈方明, 等. 武汉阳逻砾石层 ESR 地层年代学研究[J]. 地球与环境, 2009, **37**(1): 56–61 [MEI Hui, LI Changan, CHEN Fangming, et al. ESR Stratigraphically chronological study of the gravel layer in Yangluo town, Wuhan city [J]. *Earth and Environment*, 2009, **37**(1): 56–61]
- [23] 李长安, 顾延生. 江西修水第四系网纹红土的地层学研究[J]. 地层学杂志, 1997, **21**(3): 226–232 [LI Changan, GU Yansheng. Stratigraphic study on the vermicular red earth at Xiushui county, Jiangxi province [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1997, **21**(3): 226–232]
- [24] 李长安. 江西修水地区第四纪地层序列[J]. 中国区域地质, 1997, **16**(4): 366–373 [LI Changan. Quaternary stratigraphic sequence in the Xiushui area, Jiangxi [J]. *Regional Geology of China*, 1997, **16**(4): 366–373]
- [25] 夏应菲, 杨浩. 电子自旋共振 (ESR) 方法在第四纪红土年代学研究中的应用[J]. 江苏地质, 1997, **21**(4): 220–223 [XIA Yingfei, YANG Hao. Application of ESR dating in quaternary red earth, south China [J]. *Jiangsu Geology*, 1997, **21**(4): 220–223]
- [26] 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 九江地区网纹红土的时代[J]. 地质力学学报, 1997, **3**(4): 27–32 [JIANG Fuchu, WU Xihao, XIA Huaguo, et al. Age of the vermiculated red soil in Jiujiang area, central China [J]. *Journal of Geomechanics*, 1997, **3**(4): 27–32]
- [27] DEMENOCAL P B. Plio-Pleistocene African climate [J]. *Science*, 1995, **270**: 53–59
- [28] BOLTON E W, MAASCH K A, LILLY J M. A wavelet analysis of Plio-Pleistocene climate indicators: a new view of periodicity evolution [J]. *Geophysical Research Letters*, 1995, **22**: 2753–2756
- [29] SHACKLETON N J. The 100 000 year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity [J]. *Science*, 2000, **289**: 1897–1902
- [30] HOOGHMESTRA H, MELICE J L, BERG A, et al. Frequency spectra and paleoclimatic variability of the high-resolution 30 ka ~ 145 ka Funza-Ipollen record (Eastern Cordillera Colombia) [J]. *Quaternary Science Review*, 1993, **12**: 141–156
- [31] DING Z L, YU Z, RUTTER N W, et al. Towards on orbital time scale for Chinese loess deposits [J]. *Quaternary Science Review*, 1994, **13**: 39–70
- [32] 张明强, 朱丽东, 姜永见, 等. 九江 JL 红土剖面记录的中更新世气候转型事件[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, **30**(6): 116–123 [ZHANG Mingqiang, ZHU Lidong, JIANG Yongjian, et al. Mid-Pleistocene climate transition event recorded by JL red earth section, Jiujiang, Jiangxi province [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2010, **30**(6): 116–123]
- [33] RUDDIMAN W F, RAYMO M E, MARTINSON D G, et al. Pleistocene evolution: northern hemisphere ice sheets and North Atlantic Ocean [J]. *Paleoceanography*, 1989, **4**: 353–421
- [34] 刘东生, 郑绵平, 郭正堂. 亚洲季风系统的起源和发展及其与两极冰盖和区域构造运动的时代耦合性[J]. 第四纪研究, 1998, **3**: 195–204 [LIU Dongsheng, ZHENG Mianping, GUO Zhengtang. Initiation and evolution of the Asian monsoon system timely coupled with the ice-sheet growth and the tectonic movements in Asia [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, **3**: 195–204]
- [35] 袁宝印, 夏正楷, 李保生, 等. 中国南方红土年代地层学与地层划分问题[J]. 第四纪研究, 2008, **28**(1): 1–13 [YUAN Baoyin, XIA Zhengkai, LI Baosheng, et al. Chronostratigraphy and stratigraphic division of red soil in southern China [J]. *Quaternary Science*, 2008, **28**(1): 1–13]
- [36] 于振江, 黄多成. 安徽省沿江地区网纹红土和下蜀黄土的形成环境及其年龄[J]. 安徽地质, 1996, **6**(3): 48–59 [YU Zhengjiang, HUANG Duocheng. Formation environment of net-veined laterite and Xiashu loess and their ages along the Yangtze River, Anhui province [J]. *Geology of Anhui*, 1996, **6**(3): 48–59]
- [37] 李凤全, 叶玮, 朱丽东, 等. 第四纪网纹红土的类型及网纹化作用[J]. 沉积学报, 2010, **28**(2): 346–355 [LI Fengquan, YE Wei, ZHU Lidong, et al. The types and formation of quaternary plinthitic red earth [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, **28**(2): 346–355]

- [38] 黄姜依, 方家骅, 邵家骥, 等. 南京下蜀黄土沉积时代的研究 [J]. 地质评论, 1988, **34**(3): 240–247 [HUANG Jiangnong, FANG Jiahua, SHAO Jiaji, et al. Study on the depositional age of the Xishu Loess in Nanjing [J]. Geological Review, 1988, **34**(3): 240–247]
- [39] 尹秋珍, 郭正堂. 中国南方的网纹红土与东亚季风的异常强盛期 [J]. 科学通报, 2006, **51**(2): 186–193 [YIN Qiuzhen, GUO Zhengtang. Mid-Pleistocene vermiculated red soils in southern China as an indication of unusually strengthened East Asian monsoon [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, **51**(2): 186–193]
- [40] 朱丽东, 姜永见, 张明强, 等. 庐山 JL 剖面红土磁化率特征及古环境记录 [J]. 山地学报, 2011, **29**(4): 385–394 [ZHU Lidong, JIANG Yongjian, ZHANG Mingqiang, et al. Characteristics of magnetic susceptibility and its paleoenvironmental records from JL red earth section, Lushan area [J]. Journal of Mountain Science, 2011, **29**(4): 385–394]
- [41] 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]
- [42] 江樟焰, 伍永秋, 崔之久. “昆仑—黄河运动”与我国自然地理格局的形成 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2005, **41**(1): 85–88 [JIANG Zhangyan, WU Yongqiu, CUI Zhijiu. Kunlun–Yellow River tectonic motion and formation of modern physical geography pattern of China [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2005, **41**(1): 85–88]
- [43] 崔之久, 伍永秋, 刘耕年. 昆仑—黄河运动的发现及其性质 [J]. 科学通报, 1997, **42**(18): 1986–1989 [CUI Zhijiu, WU Yongqiu, LIU Gengnian. Discovery and character of the Kunlun–Yellow River Movement [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, **42**(18): 1986–1989]
- [44] 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 等. 关于“昆仑—黄河运动” [J]. 中国科学(D 辑), 1998, **28**(1): 53–59 [CUI Zhijiu, WU Yongqiu, LIU Gengnian, et al. On Kunlun–Yellow River tectonic movement [J]. Science in China (Series D), 1998, **28**(1): 53–59]
- [45] 马振兴, 余志庆. 江西九江长虹大道第四纪地层剖面特征 [J]. 中国区域地质, 2001, **20**(4): 352–358 [MA Zhenxing, YU Zhiqing. Quaternary stratigraphic section along the Changhong highway in Jiujiang, Jiangxi [J]. Regional Geology of China, 2001, **20**(4): 352–358]
- [46] MADDY D. Uplift-driven valley incision and river terrace formation in southern England [J]. Journal of Quaternary Science, 1997, **12**: 539–545
- [47] MADDY D, DEMIR T, BRIDGLAND R D, et al. The Early Pleistocene development of the Gediz River, Western Turkey: An uplift-driven, climate-controlled system? [J]. Quaternary International, 2008, **189**: 115–128
- [48] BRIDGLAND R D, WESTAWAY R. Climatically controlled river terrace staircases: A worldwide Quaternary phenomenon [J]. Geomorphology, 2008, **98**: 285–315

ESR Dating and Tectonic–Climate Significance of Topmost Terrace of Qingyijiang River in Jingxian County

HU Chenqi^{1 2}, HU Chunsheng^{1 2*}, LIU Yongting^{1 2}, LIU Shaochen^{1 2}, XU Guanglai^{1 2}

(1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China;

2. Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Preventing and Controlling, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: On the northern fringe of Mt. Huangshan, many river terraces are developed at the junction between mountains and plains. The river terraces are most typical in the Jinxian Basin, Anhui Province, where the Qingyijiang River, one of the longest tributaries of the lower Yangtze River, developed three staircase terraces. The topmost terrace (i.e., the T3 terrace) tread is 38~39 m above river level, and the top of the gravels is generally covered by 3~10.9 m of red clay deposits. There are two natural section of the topmost terrace (T3), namely CB–T3 section and SJ–T3 section. To determine the formation time of the topmost terrace, the ESR dating was applied. Furthermore the tectonic–climate significance of the topmost terrace were discussed combining with extensive related literature. The main results showed that the topmost terrace developed no later than 900 kyr ago, and this terrace was the product of the fluvial process during the transition period from Early Pleistocene to Middle Pleistocene. According to the relevant literatures, the widespread existence of 900 ka B. P. terraces in Jingxian county and the middle–lower reaches of the Yangtze river indicated that an universal incision event had occurred in the middle–

lower reaches Yangtze river around 900 ka B. P. This incision event might be a fluvial geomorphic response to the environmental change in the transition period of Early-Middle Pleistocene. The 900 ka B. P. terrace of the Qingyijiang River in Jingxian county was developed under the combination of regional tectonic uplift and climate change. Furthermore, the tectonic movement provided the driving force for the fluvial incision, and the intensity variation of East Asian summer monsoon provided climate conditions for the formation of terrace. The study is helpful for offering basic data and reference materials for the fluvial landform research in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Key words: Topmost terrace; ESR dating; 900 ka B. P.; Jingxian county; Qingyijiang River