

孙艳, 高允, 王登红, 等. 重庆铜梁地区“绿豆岩”中碎屑锆石 U - Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩矿测试, 2017, 36(6): 649 - 658.  
SUN Yan, GAO Yun, WANG Deng-hong, et al. Zircon U-Pb Dating of 'Mung Bean Rock' in the Tongliang Area, Chongqing and Its Geological Significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 2017, 36(6): 649 - 658.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.201702220022】

## 重庆铜梁地区“绿豆岩”中碎屑锆石 U - Pb 年龄及其地质意义

孙艳<sup>1</sup>, 高允<sup>2,3</sup>, 王登红<sup>1</sup>, 代鸿章<sup>1</sup>, 顾文帅<sup>4</sup>, 李建<sup>4</sup>, 张丽红<sup>5</sup>

1. 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;
3. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074;
4. 重庆地质矿产勘查开发总公司 205 队, 重庆 402160;
5. 重庆矿产地质研究院, 重庆 400042)

**摘要:**“绿豆岩”是降落沉积的火山灰经古风化作用和成岩作用形成的多为黏土类的岩石,广泛存在于我国西南早、中三叠世地层间,是良好的区域性等时标志层。研究绿豆岩的成岩年代对进一步了解其成岩机制和时代背景具有重要意义。本文以重庆铜梁地区“绿豆岩”中的碎屑锆石为研究对象,进行了锆石 LA - ICP - MS 定年工作。观察发现本次绿豆岩中挑选的碎屑锆石晶型较完整,具环带结构,U、Th 含量普遍较高,为岩浆结晶锆石特征;锆石 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>Pb 年龄峰值集中分布在 245.86 ± 0.98 Ma 和 277.6 ± 3.8 Ma。绿豆岩分布在雷口坡组的底部,因此获得的 245.86 Ma 年龄数据,代表了重庆铜梁地区雷口坡组底部随火山灰进入沉积盆地的锆石的年龄,该年龄值与贵州、广西等地凝灰岩中锆石的年龄相近,故认为在大约 246 Ma 存在区域性火山喷发事件。较老的锆石应为早期火成岩经风化作用,锆石被带入盆地沉积的结果,其中在 277 Ma 年处存在一个小的峰值,推断二叠纪中期存在一次岩浆活动。

**关键词:** 重庆铜梁; 绿豆岩; 锆石 LA - ICP - MS; 年代

**中图分类号:** P619.14; P597.3; O657.63 **文献标识码:** A

“绿豆岩”是火山喷发后,经空气搬运的火山灰降落沉积而成的凝灰岩,经成岩和古风化作用形成的多为黏土类的岩石<sup>[1]</sup>。绿豆岩广泛分布于我国西南(包括四川、贵州、陕西南部、湖北西部、湖南西部、广西西北部和云南东部广大地区地区)早、中三叠世地层间,厚度一般在 1 ~ 1.5 米<sup>[2-3]</sup>,因其颜色翠绿、常含硅质豆粒被称为绿豆岩。绿豆岩在四川、重庆一带分布尤其集中,遍布四川盆地周边的 48 个县、市,是区内重要的钾肥资源<sup>[4-5]</sup>。有学者认为绿豆岩是一种富含钾的火山凝灰岩<sup>[6]</sup>或水云母黏土

岩<sup>[2]</sup>,也有学者认为是酸性火 - 沉黏土岩<sup>[7-8]</sup>,是由酸性火山灰在沉积盆地中沉积水解,经成岩作用形成,既不是凝灰岩,也不同于陆源正常沉积形成的黏土岩。绿豆岩黏土矿物组合和含量随沉积环境和成岩条件的不同而变化。绿豆岩矿层多呈层状、似层状或断续透镜状产出,厚度变化不大。矿物成分绝大部分为较细的火山灰堆积物,汤志凯<sup>[5]</sup>按后生变化结果,将其分为两大类,一类为富钾凝灰岩(脱玻后的玻屑凝灰岩),一类为绿豆黏土岩,主要矿物成分为锂绿磷石 - 蒙脱石无序混合矿物。

收稿日期: 2017 - 02 - 22; 修回日期: 2017 - 09 - 14; 接受日期: 2017 - 10 - 24

基金项目: 国家重点研发计划项目“锂能源金属矿产基地深部探测技术示范”课题“我国锂能源金属成矿规律、靶区优选与重点查证”(2017YFC0602701); 中国地质调查局地质调查项目“大宗急缺矿产和战略性新兴产业矿产调查”工程“华南重点矿集区稀有稀散和稀土矿产调查”(DD20160056); 国家自然科学基金资助项目“柴达木盆地大风山特大型天青石矿床的富集成矿机制研究”(41402084)

作者简介: 孙艳, 副研究员, 主要从事三稀资源战略调查研究工作。E-mail: sunyan517@vip.163.com。

绿豆岩分布区域广、层位稳定、形成时间短,具有一定的厚度和规模,是良好的区域性等时标志层<sup>[9-11]</sup>;成都地矿所、川地综合队(1978)将绿豆岩层位确定为嘉陵江组( $T_{1j}$ )与雷口坡组( $T_{2l}$ )的界线划在雷口坡组底部的“绿豆岩”之底。据《四川区域地质志》,雷口坡组主要为灰岩、白云岩夹盐溶角砾岩及砂泥岩,含石膏、岩盐。一般可分为4段,横向变化不大,底部“绿豆岩”较稳定<sup>[4]</sup>。

绿豆岩研究程度相对较低,目前仅部分学者发表了贵州、广西、四川绿豆岩矿物学<sup>[12]</sup>和年代学<sup>[13-14]</sup>方面的研究成果,探讨了黔中中三叠统底部绿豆岩成因<sup>[9]</sup>和峨眉山绿豆岩成因<sup>[11]</sup>;对四川、湖北绿豆岩的研究则主要集中在提取和综合利用方面<sup>[5,15]</sup>。本文旨在通过锆石 LA-ICP-MS 年代学研究探讨重庆铜梁地区绿豆岩的形成年代,结合区域上其他地区的凝灰岩锆石年龄,探求整个区域上绿豆岩的成岩年代和形成机制。

### 1 区域地质背景

所采绿豆岩大地构造位置位于川东褶皱带西缘西山背斜北段,西部紧邻川中台拱<sup>[16]</sup>,三叠系分布在各背斜区,侏罗系广布在向斜区。中统雷口坡组( $T_{2l}$ )在区域上仅出露于五指山、天宫堂、威远背斜核部,大致以宜宾—隆昌—大足一线为界,其东南,由于泸州古隆起的存在,该组剥蚀殆尽;其西北,则自东南向西北,层位渐齐全,厚度亦随之渐增。雷口坡组之底,以区域标志层——翠绿色水云母黏土岩或钾凝灰岩(俗称“绿豆岩”),与下伏嘉陵江组整合过渡。绿豆岩分布稳定,是区内划分嘉陵江组与雷口坡组的良好标志层, $K_2O$ 含量为6.25%~8.72%,虽品位低,但可供开采使用,是区内重要的钾肥资源。嘉陵江组( $T_{1j}$ )主要出露于威远、花果山、东山、西山、新店子、青山岭、五指山等背斜的核部或近核部。除后者见底外,其余均出露不全,且宜宾—隆昌—大足一线之东南,该组上部受到不同程度的剥蚀。

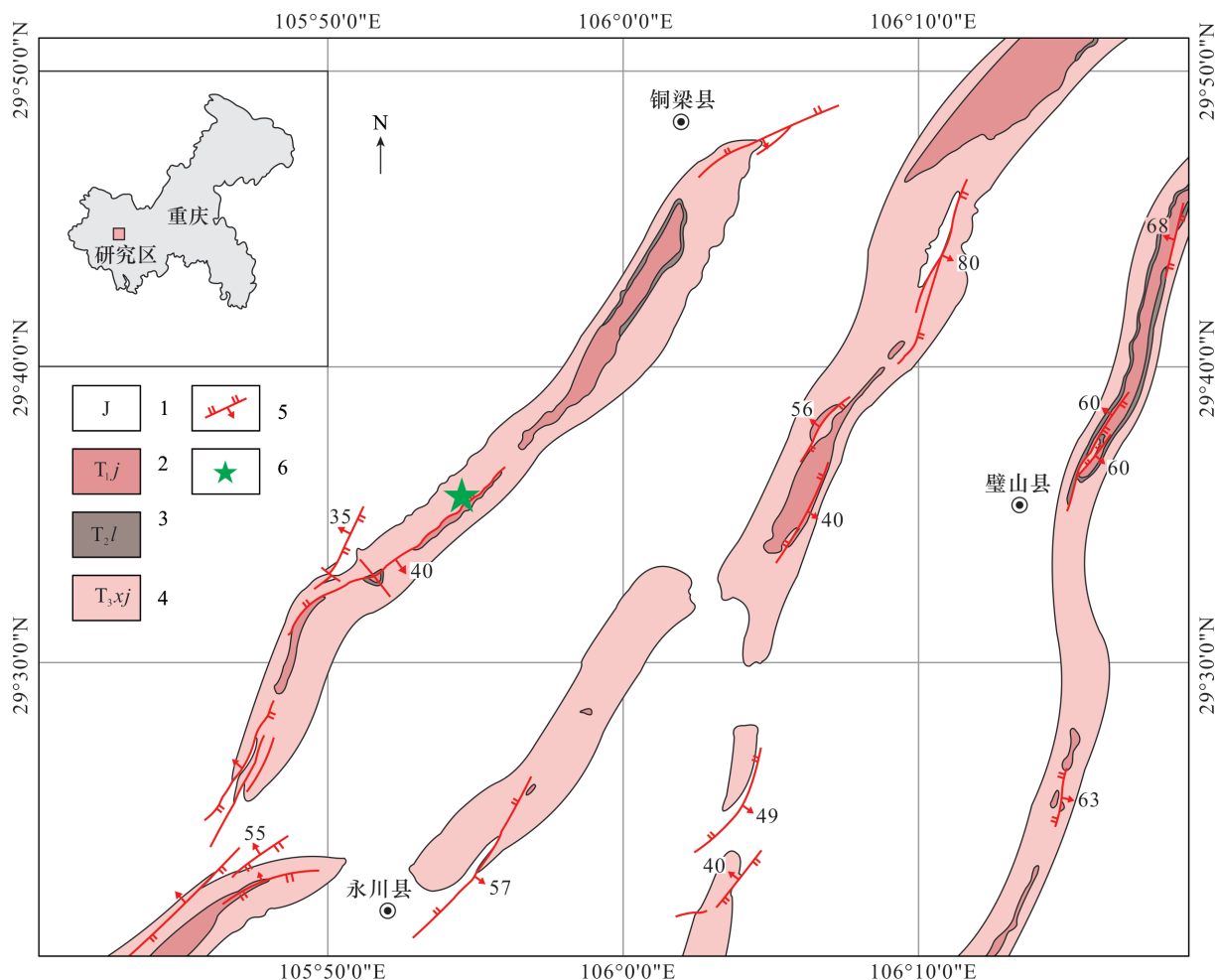


图1 研究区的区域地质简图(据1:20万内江幅、重庆幅地质图修改<sup>[17]</sup>,标示了采样位置)

Fig. 1 Simplified regional geologic map of the research area, showing the sampling location

## 2 样品采集与分析测试

本文分析测试样品采自重庆铜梁县西南部某绿豆岩采场,按 1:20 万内江幅区域地质调查报告,雷口坡组零星分布于嘉陵江组之上,样品采自雷口坡组底部。所采绿豆岩样品为翠绿色,块状构造(图 2),镜下观察呈鳞片状或条带状集合体,硅质沿微裂隙不规则分布,有少量火山玻璃或其他杂质。绿豆岩主要由蒙脱石-伊利石混层而成,与上扬子地区的其他绿豆岩一致,其  $K_2O$  含量变化于 8.44%~9.02%,比邻区贵州遵义、仁怀等地的绿豆岩含钾量还高。

本次共采集绿豆岩新鲜样品 5 kg(样品编号 TL-1),锆石挑选过程中先把绿豆岩样品破碎,后将碎样放入直径为 20 cm 的不锈钢钵中,在 XZW100 型振动磨样机中研磨 3~5 s 后取出,此过程反复进行直至样品全部通过 0.3 mm 孔径筛;然后洗去粉尘,经铝制淘砂盘富集重矿物;再通过磁选、电磁选分离出非电磁部分;而后淘洗获得锆石精矿,最后在双目镜下挑选出用于定年的锆石颗粒。

镜下观察显示样品的锆石外形呈次圆状和次棱角状,部分保持为较自形的柱状。大部分锆石的粒度在 80~100  $\mu\text{m}$ ,少数超过 120  $\mu\text{m}$ ,具有环带结构,但大多不清晰。

锆石 LA-ICP-MS 测试在国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成。首先,将待测锆石样品、锆石标准和人工合成的 NIST612 硅酸盐玻璃分别用胶粘在载玻片上,放上 PVC 环,然后将环氧

树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC 环中,待树脂充分固化后将样品座从载玻片上剥离,并对其进行抛光<sup>[18]</sup>。用酒精轻擦样品表面后,利用 Finnigan Neptune 型多接收电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICPMS)及与之配套的 Newwave UP 213 Nd:YAG 激光剥蚀系统建立的锆石微区 U-Pb 定年技术对绿豆岩碎屑锆石进行详细的定年研究<sup>[19]</sup>。

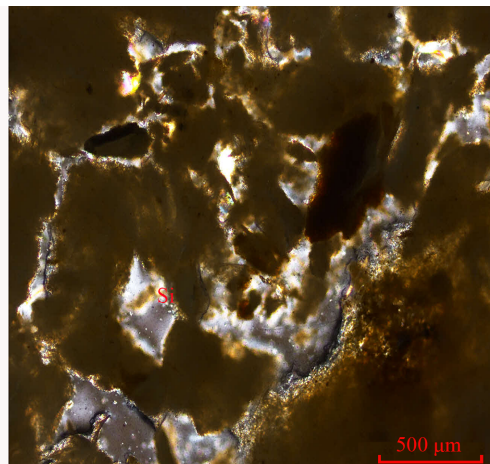
## 3 结果与讨论

### 3.1 绿豆岩中锆石定年实验结果

结合锆石样品的透射光、反射光和阴极发光图像,尽量选择锆石颗粒表面无裂痕、内部环带清晰、无包裹体的锆石作为测点位置,共选择 60 颗锆石颗粒,分析了 102 个点。年龄谱和度高的锆石中 U、Th 含量一般较高,分别位于  $154 \times 10^{-6}$ ~ $837 \times 10^{-6}$  和  $54 \times 10^{-6}$ ~ $346 \times 10^{-6}$  之间, Th/U 值范围在 0.2~0.8 之间,属于岩浆结晶锆石的标型特征<sup>[20]</sup>,既有岩浆锆石,也有老核新壳的岩浆复合锆石。选择其中 46 个谐和度超过 90% 的测点进行了年龄统计(表 1)。图 3 显示 30 个点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $245.86 \pm 0.98$  Ma (MSWD = 0.55),属于中生代三叠纪中期;6 个点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $277.6 \pm 3.8$  Ma (MSWD = 0.19),属于古生代二叠纪中期;除这两组集中的年龄数据之外,还有一些数据分别位于古生代 416.32~450.35 Ma 之间、新元古代 667.96~811.24 Ma 之间、古元古代 1819.77~2160.32 Ma 之间。其中 21、58、60、65 号点均



TL-1 样品照片



TL-1 绿豆岩中硅质沿微裂隙不规则分布

图 2 绿豆岩的手标本宏观与显微镜下微观特征

Fig. 2 Macroscopic and microscopic characteristics of the 'Mung Bean Rock' samples

表 1 重庆铜梁绿豆岩中锆石的同位素测年结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating results for zircons from the 'Mung Bean Rock' in Tongliang, Chongqing

分析号	Pb 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	$^{232}\text{Th}$ 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	$^{238}\text{U}$ 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	Th/ U 值	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
					比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	年龄(Ma)	1 $\sigma$	年龄(Ma)	1 $\sigma$
1	12	143	256	0.56	0.2756	0.0087	0.0384	0.0004	0.0112	0.0004	294.51	75.92	247.14	6.95	243.05	2.35	224.79	7.52
3	13	103	291	0.35	0.2899	0.0092	0.0395	0.0004	0.0111	0.0004	342.65	39.81	258.52	7.22	249.67	2.39	223.29	7.65
4	10	138	224	0.62	0.2758	0.0104	0.0385	0.0004	0.0101	0.0003	294.51	91.66	247.29	8.27	243.30	2.47	203.00	6.04
5	23	167	448	0.37	0.3386	0.0133	0.0444	0.0008	0.0139	0.0009	427.83	91.66	296.12	10.06	280.08	5.08	279.18	18.28
6	11	125	255	0.49	0.2808	0.0097	0.0389	0.0005	0.0110	0.0004	309.32	81.47	251.28	7.70	245.86	2.83	220.84	7.13
7	14	102	325	0.31	0.2749	0.0091	0.0386	0.0004	0.0103	0.0004	279.69	84.25	246.64	7.28	244.20	2.72	207.22	7.44
9	21	138	450	0.31	0.3472	0.0140	0.0441	0.0007	0.0130	0.0006	500.04	81.47	302.58	10.52	278.10	4.49	260.77	11.27
11	15	117	369	0.32	0.2864	0.0087	0.0387	0.0004	0.0102	0.0004	368.57	72.22	255.71	6.84	244.98	2.66	204.61	7.38
13	22	153	517	0.30	0.2849	0.0175	0.0385	0.0005	0.0107	0.0005	346.35	130.54	254.56	13.80	243.60	3.26	215.06	9.48
19	191	104	404	0.26	8.7858	0.1262	0.3981	0.0042	0.0903	0.0030	2454.63	19.14	2316.02	13.09	2160.32	19.34	1748.12	55.79
20	20	140	459	0.30	0.2824	0.0144	0.0385	0.0006	0.0112	0.0007	324.13	108.32	252.54	11.43	243.61	3.49	225.49	14.21
21	77	243	384	0.63	1.6759	0.0295	0.1702	0.0023	0.0385	0.0014	968.52	29.17	999.44	11.18	1013.43	12.45	763.72	27.20
22	16	100	315	0.32	0.3490	0.0272	0.0441	0.0009	0.0146	0.0014	509.30	181.46	303.99	20.47	278.10	5.78	293.53	27.97
23	16	126	370	0.34	0.2831	0.0103	0.0393	0.0004	0.0092	0.0004	300.06	81.47	253.08	8.12	248.65	2.70	185.48	7.90
24	8	93	155	0.60	0.3393	0.0146	0.0439	0.0006	0.0103	0.0004	477.82	98.14	296.65	11.10	276.85	3.78	206.50	8.58
25	12	88	287	0.31	0.2806	0.0082	0.0389	0.0005	0.0094	0.0004	309.32	74.99	251.14	6.52	246.08	2.82	189.29	7.73
26	14	81	322	0.25	0.2761	0.0079	0.0395	0.0004	0.0097	0.0004	231.55	64.80	247.57	6.27	249.56	2.64	195.77	8.69
27	17	163	399	0.41	0.2823	0.0071	0.0391	0.0004	0.0091	0.0004	309.32	58.33	252.48	5.65	247.41	2.37	182.65	7.69
29	14	94	326	0.29	0.2769	0.0113	0.0389	0.0004	0.0095	0.0008	264.88	90.73	248.23	8.97	246.16	2.33	191.45	16.83
30	14	111	335	0.33	0.2735	0.0096	0.0389	0.0004	0.0085	0.0005	238.96	74.99	245.50	7.66	246.04	2.59	172.03	9.12
32	15	142	359	0.40	0.2762	0.0073	0.0391	0.0004	0.0089	0.0004	250.07	59.25	247.65	5.84	247.38	2.72	179.30	8.59
34	18	90	442	0.20	0.2992	0.0259	0.0391	0.0017	0.0107	0.0010	453.75	269.41	265.74	20.21	247.16	10.31	215.67	19.57
36	22	110	466	0.24	0.3355	0.0191	0.0436	0.0007	0.0121	0.0006	457.45	135.02	293.73	14.55	274.91	4.20	242.32	12.96
39	19	179	449	0.40	0.2723	0.0080	0.0383	0.0004	0.0091	0.0004	272.29	66.66	244.52	6.39	242.08	2.53	183.78	7.80



(续表1)

分析号	Pb含量 ( $\times 10^{-6}$ )	$^{232}\text{Th}$ 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	$^{238}\text{U}$ 含量 ( $\times 10^{-6}$ )	Th/ U值	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
					比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$
41	11	78	255	0.30	0.0534	0.0018	0.2861	0.0098	0.0391	0.0005	0.0106	0.0005	255.49	7.70	247.37	3.15	213.28	10.27
42	10	99	245	0.40	0.0532	0.0019	0.2837	0.0104	0.0388	0.0005	0.0095	0.0004	253.63	8.21	245.54	2.90	191.61	8.42
43	39	118	327	0.36	0.0687	0.0015	1.0476	0.0408	0.1092	0.0030	0.0322	0.0013	727.67	20.22	667.96	17.25	641.49	25.88
44	16	96	336	0.29	0.0536	0.0025	0.3298	0.0167	0.0446	0.0012	0.0106	0.0005	289.43	12.78	281.36	7.28	213.86	10.70
46	19	212	450	0.47	0.0545	0.0020	0.2914	0.0100	0.0389	0.0004	0.0095	0.0004	259.68	7.86	246.09	2.49	190.59	7.19
47	14	108	346	0.31	0.0504	0.0017	0.2736	0.0096	0.0393	0.0005	0.0090	0.0004	245.59	7.67	248.56	2.81	180.69	7.29
48	23	183	279	0.66	0.0575	0.0029	0.5738	0.0265	0.0724	0.0012	0.0172	0.0008	460.44	17.11	450.35	7.41	344.10	14.93
49	12	121	288	0.42	0.0557	0.0020	0.2988	0.0101	0.0390	0.0004	0.0092	0.0004	265.42	7.89	246.69	2.68	184.42	7.78
53	15	121	371	0.33	0.0511	0.0016	0.2718	0.0081	0.0389	0.0004	0.0094	0.0004	244.13	6.48	245.97	2.71	189.59	7.98
54	8	55	203	0.27	0.0549	0.0026	0.2903	0.0128	0.0388	0.0006	0.0090	0.0004	258.80	10.08	245.30	3.45	181.09	8.18
55	24	240	292	0.82	0.0557	0.0017	0.5214	0.0162	0.0677	0.0008	0.0162	0.0005	426.06	10.80	422.33	4.57	325.58	10.71
57	17	195	386	0.51	0.0558	0.0029	0.3007	0.0148	0.0391	0.0005	0.0102	0.0004	266.95	11.58	247.53	2.95	204.56	8.02
58	206	331	520	0.64	0.1263	0.0013	5.6849	0.0680	0.3262	0.0033	0.0771	0.0023	1929.08	10.33	1819.77	16.02	1500.50	43.39
59	15	114	350	0.33	0.0545	0.0048	0.2936	0.0356	0.0386	0.0015	0.0124	0.0014	261.35	27.98	244.24	9.52	249.72	28.44
60	128	346	838	0.41	0.0772	0.0010	1.4290	0.0189	0.1341	0.0011	0.0387	0.0013	901.15	7.92	811.24	6.05	766.54	24.76
61	14	110	324	0.34	0.0540	0.0024	0.2884	0.0130	0.0387	0.0005	0.0110	0.0005	257.30	10.25	244.50	2.84	221.81	9.24
62	17	129	398	0.32	0.0524	0.0019	0.2788	0.0100	0.0387	0.0004	0.0105	0.0004	249.69	7.95	244.84	2.72	210.72	8.02
63	17	145	389	0.37	0.0522	0.0019	0.2757	0.0096	0.0386	0.0004	0.0110	0.0004	247.20	7.66	244.33	2.67	220.71	7.55
64	19	190	440	0.43	0.0534	0.0016	0.2821	0.0079	0.0386	0.0004	0.0105	0.0004	252.30	6.29	244.11	2.72	211.95	7.47
65	16	132	197	0.67	0.0570	0.0016	0.5219	0.0141	0.0668	0.0007	0.0189	0.0006	426.45	9.43	416.62	4.45	378.87	11.56
66	10	59	251	0.23	0.0563	0.0060	0.2981	0.0322	0.0384	0.0007	0.0125	0.0009	264.95	25.18	243.08	4.34	251.13	17.04
67	15	116	342	0.34	0.0512	0.0017	0.2737	0.0084	0.0392	0.0005	0.0116	0.0004	245.65	6.70	247.65	2.95	232.27	8.29

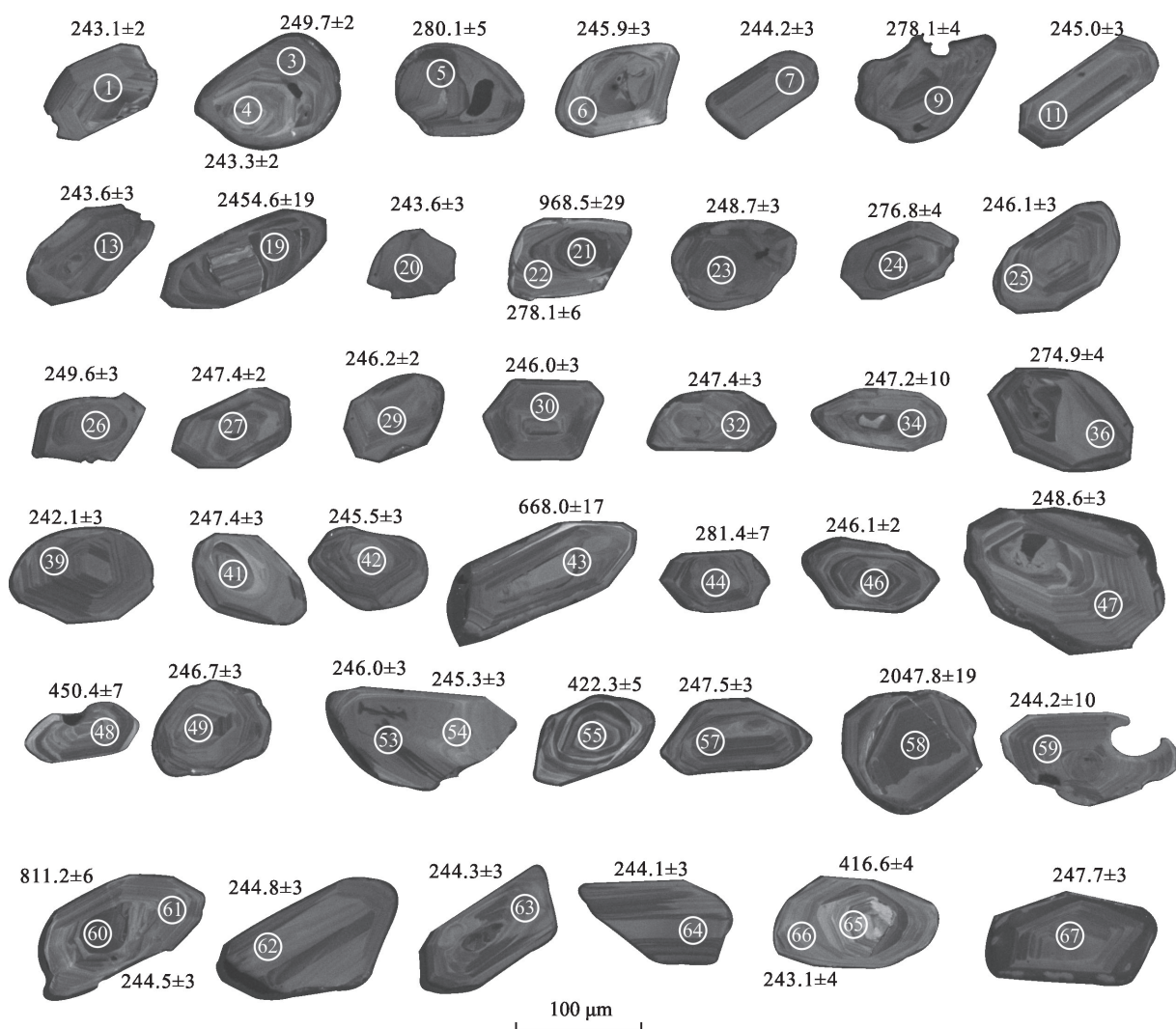


图3 重庆绿豆岩中锆石的阴极发光照片

Fig. 3 Cathodoluminescence images of zircons from the 'Mung Bean Rock' in Tongliang, Chongqing

打在复合锆石核部， $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄分别为  $968.5 \pm 29 \text{ Ma}$ 、 $2047.9 \pm 19 \text{ Ma}$ 、 $811.2 \pm 6 \text{ Ma}$  和  $416.6 \pm 4 \text{ Ma}$ 。这些碎屑锆石的年龄比较分散，一种可能是早期的碎屑锆石受到了改造，其地质意义不明确，另一种可能是这些碎屑锆石来自于其他的源区。

### 3.2 锆石年代讨论

对于绿豆岩的层位，一般认为具有区域稳定性，在四川和重庆部分地区可以作为雷口坡组 ( $T_2l$ ，同位素年龄为  $237 \sim 247.2 \text{ Ma}$ ) 底部的标志层。分析测试获得的重庆铜梁雷口坡组底部主要锆石的年龄为  $277.6 \text{ Ma}$  和  $245.86 \text{ Ma}$ 。根据 2017 年国际地层表认为  $277 \text{ Ma}$  属二叠纪中期，推断期间可能存在一次岩浆活动，或是期间形成的火山岩（也不排除侵入岩的可能性）被风化剥蚀之后，锆石被带入沉积

盆地并随绿豆岩而沉积。

随着同位素测年技术的迅速发展，一些关键的年代地层界线上不断有新成果推出，三叠纪年代地层界线的地质年龄不断得以改进和精确化，界线年龄数值不断刷新并趋向于真实年龄<sup>[21]</sup>。因此，中三叠统的年代界线不断变化，由  $230 \sim 240 \text{ Ma}$  (2000—2001 年国际地层表)、 $227.4 \sim 241.7 \text{ Ma}$  (2002 年国际地层表)、 $228 \sim 245 \text{ Ma}$  (2003—2004 年国际地层表)<sup>[21]</sup>、 $228.7 \sim 245 \text{ Ma}$  (2009 年国际地层表) 逐渐调整为  $235 \sim 247.2 \text{ Ma}$  (2012、2017 年国际地层表)。其中，火山事件沉积物（如凝灰岩）被认为是三叠纪地质测年的关键层<sup>[21]</sup>。结合绿豆岩的标志性及最新的国际地层表和中国地层表，推断  $245.86 \text{ Ma}$  代表的是重庆铜梁地区雷口坡组底部随火山灰进入沉积盆地的锆石的年龄。

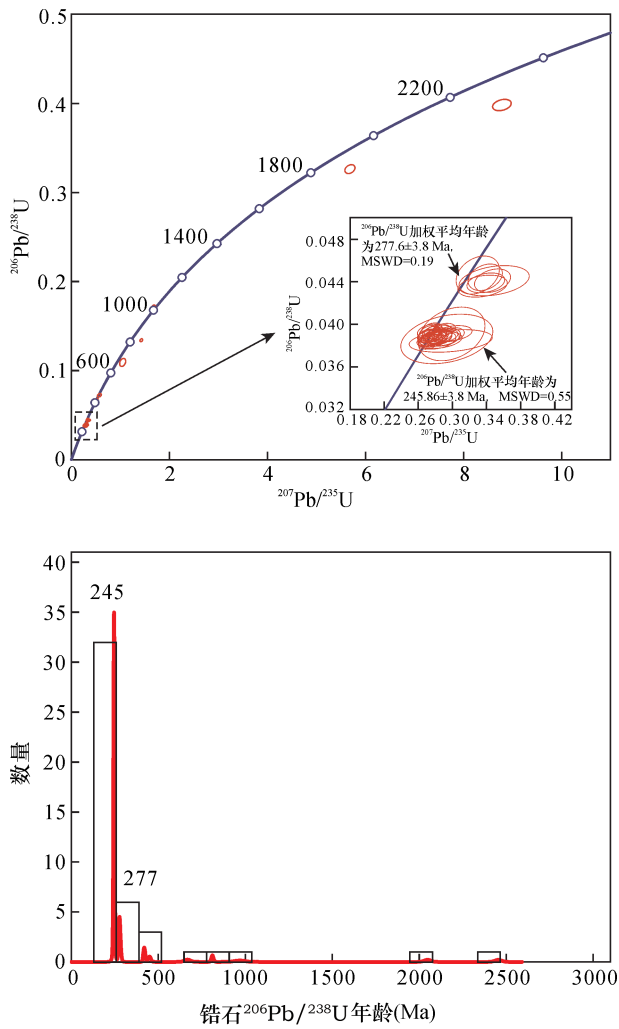


图4 重庆铜梁绿豆岩中锆石 U - Pb 谐和曲线图和年龄分布柱状图

Fig. 4 U-Pb concordia diagrams and age histograms of the detrital zircons from of the 'Mung Bean Rock' in Tongliang, Chongqing

谢韬等(2013)<sup>[13]</sup>对云南罗平生物群(安尼期)下部的凝灰岩(华南地区广泛分布的绿豆岩)进行了锆石 LA - ICP - MS U - Pb 定年,其年龄为  $246.6 \pm 1.4$  Ma; Lehrmann 等(2006)<sup>[22]</sup>对贵州关刀地区的多层火山凝灰岩进行了锆石 U - Pb 定年为  $246.77 \pm 0.13$  Ma、 $247.13 \pm 0.12$  Ma、 $247.32 \pm 0.08$  Ma、 $247.38 \pm 0.10$  Ma; Ovtcharova 等(2006)<sup>[23]</sup>对广西凤山金牙剖面的火山凝灰岩锆石定年为  $248.12 \pm 0.41$  Ma; 王彦斌等(2004)<sup>[24]</sup>和郑连弟等(2010)<sup>[25]</sup>对贵州望谟县甘河桥剖面的火山凝灰岩锆石 U - Pb 定年分别为  $239.0 \pm 2.9$  Ma 和  $247.6 \pm 1.4$  Ma。前人研究获得的贵州、广西凝灰岩的锆石

年龄与本文铜梁地区凝灰岩的年龄(245.86 Ma)接近。因此,本次获得的绿豆岩锆石年龄,说明在大约 246 Ma 发生区域性火山喷发并形成了凝灰岩,后变成绿豆岩。

本次测试结果表明,绿豆岩中还存在年龄为 422.3 ~ 416.6 Ma 的中晚志留世锆石、450.4 Ma 的上奥陶纪锆石、668 Ma 的新元古代南华纪锆石、968.5 ~ 811.2 Ma 的青白口纪锆石、2047.8 Ma 的古元古代晚期(溇沱纪)锆石及 2454.6 Ma 的古元古代早期锆石。这些古老的锆石颗粒可能是古陆上风化剥蚀下来的碎屑锆石。

## 4 结论

绿豆岩是我国西南早、中三叠世地层间良好的区域性等时标志层。前人已对贵州、云南和广西等地的凝灰岩开展了定年工作,锆石年龄位于  $246.6 \pm 1.4$  Ma ~  $248.12 \pm 0.41$  Ma 之间。本次首次对重庆铜梁地区绿豆岩开展了碎屑锆石测年工作,测得的 245.86 Ma 代表了雷口坡组底部随火山灰进入沉积盆地的锆石的年龄。结合已有资料,推断在 246 Ma 左右发生区域性火山喷发并形成了西南地区广泛分布的绿豆岩,但具体火山喷发的位置尚难以确定,需进一步开展研究。

本文测得碎屑锆石中存在 277.6 Ma 的二叠纪锆石,推断在二叠纪中期可能存在一次岩浆活动,或期间形成的火山岩或侵入岩被风化剥蚀之后,锆石被带入沉积盆地并随绿豆岩而沉积。碎屑锆石中的古老锆石颗粒为古陆的风化剥蚀碎屑进入沉积盆地而形成的。

**致谢:** 感谢审稿专家提出了宝贵的修改意见。

## 5 参考文献

- [1] 吴应林,朱忠发,王吉礼,等. 上扬子台地早、中三叠世岩相、古地理及沉积矿产的环境控制[M]. 重庆:重庆出版社,1989:129 - 159.  
Wu Y L, Zhu Z F, Wang J L, et al. Lithofacies-Paleogeography and Environmental Control of Sedimentary Deposits of the Early and Middle Triassic in the Upper Yangtze Area [M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1989:129 - 159.
- [2] 余子昭. 关于“绿豆岩”地质意义之我见[J]. 盐业史研究,1992(1):77 - 78.

- Yu Z Z. The geological significance of 'Mung Bean Rock' [J]. Salt Industry History Research, 1992 (1): 77-78.
- [3] 陈忠,唐洪明,沈明道,等. “绿豆岩”组分新析[J]. 西南石油学院学报,1999(1):45-52.  
Chen Z, Tang H M, Shen M D, et al. New analysis on the composition of 'Mung Bean Rock' [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 1999(1):45-52.
- [4] 四川区域地质志编委会. 四川区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1996.  
Editorial Board of Regional Geology of Sichuan Province. Regional Geology of Sichuan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [5] 汤志凯. 四川绿豆岩提取钾肥及其综合利用新工艺实验研究[J]. 四川地质学报,1996,16(1):85-90.  
Tang Z K. Test and examination of potash fertilizer-making technology and comprehensive utilization from Mung Bean Rock in Sichuan [J]. Acta Geologica Sichuan, 1996, 16(1):85-90.
- [6] 郑若锋. 绿豆岩钾赋存状态和石英的测定[J]. 四川化工,1994(2):27-29.  
Zheng R F. The existing state of potassium and the quartz measured in Mung Bean Rock [J]. Sichuan Chemical Industry, 1994(2):27-29.
- [7] 冯宝华. 酸性火-沉黏土岩的微量元素地球化学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1993,12(1):3-6.  
Feng B H. The microelement geochemical research acid volcanic-sedimentary clay rock [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1993, 12(1):3-6.
- [8] 朱立军. 贵州早、中三叠世间绿豆岩粘土矿物学研究[J]. 贵州工学院学报,1994,23(5):19-24.  
Zhu L J. A study of the clay mineralogy of Green Bean Rock between the early and middle Triassic in Guizhou [J]. Journal of Guizhou Institute of Technology, 1994, 23(5):19-24.
- [9] 吴雪华. 黔中中三叠统底部“绿豆岩”的岩性特征及成因探讨[J]. 贵州区域地质,1978(2):70-77.  
Wu X H. The genesis and characteristics of rock of 'Mung Bean Rock' at the bottom of mid-Triassic, Central Guizhou [J]. Regional Geology of Guizhou, 1978(2):70-77.
- [10] 徐国盛,陈美玲,刘为,等. 川西地区雷口坡组岩相古地理与富钾卤水预测[J]. 矿床地质,2012,31(2):309-322.  
Xu G S, Chen M L, Liu W, et al. Lithofacies palaeogeography and forecast of potassium-rich brine of Leikoupo Formation in Western Sichuan [J]. Mineral Deposits, 2012, 31(2):309-322.
- [11] 关建哲,戴克琳,杜其良. 峨眉山绿豆岩的应用及其成因探索[J]. 成都地质学院学报, 1990, 17(2):37-43.  
Guan J Z, Dai K L, Du Q L. Use and genesis of Green Bean Rocks and its genesis in Emeishan area, Sichuan Province [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1990, 17(2):37-43.
- [12] 朱立军. 贵州绿豆岩中粘土矿物特征及其成因探讨[J]. 矿物学报,1995,15(1):75-81.  
Zhu L J. The genesis and characteristics of clay minerals of Green Bean Rock in Guizhou Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1995, 15(1):75-81.
- [13] 谢韬,周长勇,张启跃,等. 罗平生物群下部凝灰岩锆石年龄及其地质意义[J]. 地质论评,2013,59(1):159-164.  
Xie T, Zhou C Y, Zhang Q Y, et al. Zircon U-Pb age for the tuff before the Luoping Biota and its geological implication [J]. Geological Review, 2013, 59(1):159-164.
- [14] 胡世玲,李曰俊. 贵州绿豆岩激光质谱 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄[J]. 岩石学报,1996,12(3):409-414.  
Hu S L, Li Y J. The laser mass-spectrometer  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  age of green pisolites of Guizhou Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(3):409-414.
- [15] 龙世猛. 利川绿豆岩的农肥应用研究[J]. 建材地质, 1993,66(2):34-37.  
Long S M. Agricultural fertilizer application research of Mung Bean Rocks, Lichuan county, Hubei Province [J]. Building Materials of Geology, 1993, 66(2):34-37.
- [16] 赵友年,李春生,赖祥符. 四川省大地构造及其演化[J]. 中国区域地质,1984(8):1-21.  
Zhao Y N, Li C S, Lai X F. The geotectonic evolution of Sichuan [J]. Regional Geology of China, 1984(8):1-21.
- [17] 遂宁幅、自贡幅、内江幅、宜宾幅、泸州幅区域地质调查报告(地质部分)[R]. 成都:四川地质局,1980.  
Regional Geological Survey Report of Suining, Zigong, Neijiang, Yibin, Luzhou Area [R]. Chengdu: Sichuan Geological Survey, 1980.
- [18] 侯可军,李延河,田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质,2009,28(4):481-492.

- Hou K J, Li Y H, Tian Y R. *In situ* U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(4): 481-492.
- [19] 公王斌, 胡健民, 李振宏, 等. 华北克拉通北缘裂谷渣尔泰群 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 测年及地质意义[J]. *岩石学报*, 2016, 32(7): 2151-2165.
- Gong W B, Hu J M, Li Z H, et al. Detrital zircon U-Pb dating of Zhaertai Group in the North Margin Rift Zone of North China Craton and its application [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2016, 32(7): 2151-2165.
- [20] 周剑雄, 陈振宇. 电子探针下锆石阴极发光的研究[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2007.
- Zhou J X, Chen Z Y. Study on Cathodoluminescence of Zircon by Electron Probe [M]. Chengdu: Press of University of Electronic Science and Technology, 2007.
- [21] 童金南, 殷鸿福. 国际三叠纪年代地层研究进展[J]. *地层学杂志*, 2005, 29(2): 130-137.
- Tong J N, Yin H F. Recent advance in the Triassic chronostratigraphic study [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2005, 29(2): 130-137.
- [22] Lehrmann D J, Ramezani J, Bowring S A, et al. Timing of recovery from the end-Permian extinction: Geochronologic and biostratigraphic constraints from South China [J]. *Geology*, 2006, 34(12): 1053-1056.
- [23] Ovtcharova M, Bucher H, Schaltegger U, et al. New early to Middle Triassic U-Pb ages from South China: Calibration with ammonoid biochronozones and implications for the timing of the Triassic biotic recovery [J]. *Earth and Planetary Science*, 2006, 243: 463-475.
- [24] 王彦斌, 刘敦一, 姚建新, 等. 黔西南下-中三叠统界线年龄[J]. *地质学报*, 2004, 78(5): 586-590.
- Wang Y B, Liu D Y, Yao J X, et al. Age determination of the lower-middle Triassic boundary at Ganheqiao, Wangmo, Guizhou Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(5): 586-590.
- [25] 郑连弟, 姚建新, 全亚博, 等. 贵州南部地区安尼阶底界锆石 SHRIMP 年龄结果[J]. *地质学报*, 2010, 84(8): 1112-1117.
- Zheng L D, Yao J X, Tong Y B, et al. Zircon U-Pb dating for the boundary of Olenekian-Anisian at Wangmo, Guizhou Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(8): 1112-1117.



# Zircon U-Pb Dating of ‘Mung Bean Rock’ in the Tongliang Area, Chongqing and Its Geological Significance

SUN Yan<sup>1</sup>, GAO Yun<sup>2,3</sup>, WANG Deng-hong<sup>1</sup>, DAI Hong-zhang<sup>1</sup>, GU Wen-shuai<sup>4</sup>, LI Jian<sup>4</sup>, ZHANG Li-hong<sup>5</sup>

(1. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment; Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

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

3. College of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China;

4. The No. 205 Team, Chongqing Geology and Mineral Exploration and Development Corporation, Chongqing 402160, China;

5. Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China)

## Highlights

- The detrital zircon in ‘Mung Bean Rock’ is used to study regional volcanic activity.
- The age of detrital zircon is concentrated in two ranges, the results shows that ‘Mung Bean Rock’ is related to the regional volcanic activity around 246 Ma.
- There may be a magmatic activity in the study area around 277 Ma.

**Abstract:** ‘Mung Bean Rock’ or ‘Green Bean Rock’ is a type of clay-like rock formed by Paleomatization and diagenesis. These rocks are distributed mainly between early and middle Triassic strata in Southwestern China and are good regionally isochronal mark beds. Studying the diagenetic age of ‘Mung Bean Rock’ is of great significance for further understanding of its diagenetic mechanism and age background. The debris zircon of ‘Mung Bean Rock’ in Chongqing Tongliang was used for U-Pb dating by LA-ICP-MS in this study. The zircon crystals have almost complete shape and zoning textures with

high U and Th content, typical of magma zircon. Weighted average ages of the zircon  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  peak at  $245.86 \pm 0.98$  Ma and  $277.6 \pm 3.8$  Ma. ‘Mung Bean Rock’ is located in the base of the Leikoupo Formation, the age of 245.86 Ma represents the timing of the zircons entering the sedimentary basin with volcanic ash at the base of the Leikoupo Formation in Tongliang, Chongqing. The age is similar to that of the tuff in Guizhou and Guangxi, indicating that regional volcanic eruption occurred at around 246 Ma. The older zircon was brought into the sedimentary basin during weathering of early igneous rocks and deposited with ‘Mung Bean Rock’. A peak age at 277 Ma may imply that there was magmatic activity in the middle Permian period.

**Key words:** Tongliang county; Mung Bean Rock; zircon LA-ICP-MS; dating

Formation	Profile	Depth (m)	Lithology
Leikoupo formation	T <sub>2</sub> <sup>l</sup>	0-100	Dolomite, argillaceous dolomite, limestone, saline breccia and the bottom is ‘Mung Beans Rock’.

