

姜琴, 何情, 郑刘根, 等. 安徽齐云山晚白垩世恐龙蛋矿物和元素组成及古环境分析[J]. 岩矿测试, 2017, 36(4): 340 - 349.
JIANG Qin, HE Qing, ZHENG Liu-gen, et al. Mineral and Elemental Composition of Late Cretaceous Dinosaur Eggs in Qiyunshan Area, Anhui Province and Its Implication for Palaeoenvironmental Analysis[J]. Rock and Mineral Analysis, 2017, 36(4): 340 - 349.
【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.201705230086】

安徽齐云山晚白垩世恐龙蛋矿物和元素组成及古环境分析

姜琴¹, 何情^{1*}, 郑刘根¹, 胡毅²
(1. 安徽大学资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230601;
2. 安徽齐云山风景区管理委员会, 安徽 黄山 245451)

摘要: 安徽齐云山新发现的恐龙蛋化石保存完好, 是研究该地区晚白垩世恐龙动物群生活环境及绝灭的关键。本文采用粉晶 X 射线衍射法(XRD)、电感耦合等离子体发射光谱/质谱法(ICP-OES/MS)分析齐云山恐龙蛋壳、蛋核及围岩的宏观矿物及主量、微量元素组成, 以探讨齐云山晚白垩世古环境和古气候特征。结果表明: 恐龙蛋壳主要矿物组成为方解石和石英, 且蛋内外物质矿物组成相似, 主要为石英和长石; 而元素组成包括常量元素 Ca、Na、Mg、K、Al 和 Fe 及微量元素 Sr、Zn、Ba、As、Ti、V、Cr、Co、Ni、Cu、Mn、Pb、La、U 和 Ir, 其中 Sr 在蛋壳中含量的平均值为 6199.3×10^{-6} , 高于河南西峡及广东南雄大部分恐龙蛋壳中的 Sr 含量, 蛋壳中 Ir 含量的平均值为 59.6×10^{-12} , Sr 和 Ir 与背景值相比均有明显异常, 分析认为是恐龙与外界进行物质交换时吸收有害元素引起的。而 As、Mn 和 Pb 的富集及 Zn 的不足可能使恐龙机体中毒进而灭绝。围岩中 Fe 含量的增加表明齐云山地区晚白垩世为干旱炎热的气候条件, 与 Fe 呈正相关性的 Ir 元素随 Fe 含量的增加而富集, 且越靠近 K/T 界线, 围岩中 Sr 和 Ir 元素含量越高, 这是导致该地区恐龙动物群绝灭的原因之一。此结论为研究齐云山地区恐龙动物群的生活环境提供了依据。
关键词: 恐龙蛋; 矿物组成; 元素组成; 晚白垩世; 齐云山地区
中图分类号: Q915.21; O657.31; O657.63 **文献标识码:** A

据统计, 世界范围内发现的恐龙蛋和恐龙蛋壳化石点超过了 200 个^[1], 恐龙蛋化石在韩国^[2-4]、蒙古^[5]、西班牙^[6-7]、日本^[8]等地均有产出。而我国是世界上恐龙蛋化石分布最丰富的国家, 在广东南雄、浙江天台、山东莱阳、河南西峡和浙川盆地等晚白垩世陆相红层盆地中均发现了大量的恐龙蛋, 具有数量多、成窝产出、多层分布、保存好且类型丰富等特点。恐龙蛋是恐龙遗留下来的一类重要的遗迹化石, 其宏观形态和蛋壳结构的研究为揭示恐龙动物群的生活环境甚至绝灭的原因提供了重要信息^[9-13], 尤其在骨骼化石保存较少的地区(如广东南雄)对研究恐龙的分类和动物群组成有指示意义^[8,14]。目前国内外学者对恐龙蛋化石的研究主要

体现在以下四个方面: 分类学研究^[15-22], 产蛋行为研究^[1,23-24], 地层学研究^[7,25-29], 以及古环境和古气候研究^[4,6,10,30-33]。其中蛋壳化石的微量元素及碳、氧稳定同位素研究可揭示古环境和古气候^[6,34]。目前对元素的研究采用的方法包括粉晶 X 射线衍射(XRD)、X 射线荧光光谱(XRF)^[35]、激光拉曼光谱^[36]、放射中子活化分析(RNAA)^[37]、中子活化分析(NAA)^[31]和电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)^[38]等。李艳芳等^[35]采用 XRD 和 XRF 分析蛋内外物质的矿物和元素组成, 汪晓伟等^[38]采用 ICP-OES 对河南西峡的恐龙蛋壳及单个围岩样品的主量、微量元素进行测试, 认为高异常的 Sr 和 Ir 元素是导致恐龙灭绝的主要原因之一。由此可见, 综合运用矿

收稿日期: 2017-05-23; 修回日期: 2017-07-10; 接受日期: 2017-07-15
基金项目: 安徽省自然科学基金资助项目(1708085QD86); 安徽大学博士科研启动经费项目(J10113190092)
作者简介: 姜琴, 硕士研究生, 环境工程专业。E-mail: 18815516774@163.com。
通讯作者: 何情, 博士, 讲师, 主要从事遗迹化石研究及地质遗迹调查工作。E-mail: heqingzjb@163.com。

物及元素测试方法分析恐龙蛋的组成更加可靠。

与我国其他地区相比,安徽的恐龙蛋相对贫乏,目前发现的恐龙蛋化石点主要出现在贵池、黄山、休宁等地,而休宁盆地蛋化石的系统工作才刚刚开始,主要类型包括休宁副蜂窝蛋(*Parafaveoolithus xiuningensis*)、黄山皖南蛋(*Wannanoolithus huangshanensis*)^[39]及?渭桥椭圆形蛋(?*Ovaloolithus weiqiaoensis*,分类位置不明)^[40]。近年来,在休宁盆地齐云山北麓又新发现有恐龙蛋化石,未曾研究。而其研究对恢复齐云山地区恐龙动物群的生活环境和古气候具有重要意义。

本文采用 XRD 分析休宁盆地齐云山地区新发现的恐龙蛋壳、蛋核及围岩的宏观矿物组成,利用 ICP-OES 和 ICP-MS 对蛋壳、蛋核、围岩及恐龙足迹层位普通沉积岩进行主量、微量元素测试,拟探讨该地区恐龙动物群的生活环境及古气候特征。

1 地质背景及样品概况

安徽齐云山位于晋宁期碰撞混杂岩带上的拉伸盆地,属于中生代休宁盆地的一部分。齐云山盆地白垩系的红色砂砾岩在新生代以来构造运动的影响下形成了壮观的丹霞地貌,白垩系地层主要包括徽州组、齐云山组和小岩组,构成丹霞地貌的物质基础。徽州组分为上、下两段,下段由砾岩、粉砂质泥岩与岩屑砂岩、粉砂岩的韵律层组成,上段为砂岩、粉砂岩夹粉砂质泥岩的韵律层,代表以冲积扇相、扇三角洲相及湖泊相为主的陆相沉积。齐云山组由块状砾岩、含砾岩屑砂岩及粉砂岩、粉砂质泥岩的互层组成。小岩组由含砾砂岩、岩屑砂岩和钙质砂岩组成,不整合于齐云山组和徽州组之上,小壶天恐龙足

迹位于小岩组顶部的泥质粉砂岩中^[41-42]。本文所研究的恐龙蛋化石主要赋存于徽州组上段顶部的紫红色岩屑砂岩中(图 1),为了防止风化,目前保存于齐云山地质博物馆中。

2 实验部分

2.1 实验样品

本次实验样品包括采自齐云山的 2 个足迹层位的沉积岩(XN-01、XN-02),2 个围岩(XN-03、XN-04),2 个蛋核(XN-05、XN-06),4 个蛋壳化石(XN-07、XN-08、XN-09 和 XN-10)以及现生家鸡蛋壳和鸟蛋(鹌鹑)蛋壳各 1 个,共 12 个样品。

2.2 主要试剂

实验消解过程中所用的硝酸(分析纯)、氢氟酸(优级纯)、高氯酸(电子级)和盐酸(分析纯)均来自国药集团化学试剂有限公司,超纯水来自德国 Merck Millipore 公司,水的电阻率为 18.2 MΩ·cm。

2.3 测试方法

实验在安徽大学现代实验技术分析中心完成,分别采用 XRD、ICP-OES 和 ICP-MS 分析齐云山恐龙蛋壳、蛋核及围岩的矿物和元素组成。

2.3.1 粉晶 X 射线衍射法分析宏观矿物

SmartLab 9kW 型粉晶 X 射线衍射仪(XRD,日本 Rigaku 公司)。仪器工作参数:石墨弯晶单色器,管压 45 kV,管流 200 mA,D/tex256 位阵列探测器,扫描速度为 5°/min,连续扫描。将实验所需的蛋壳、蛋核及围岩样品干燥后研磨过 200 目筛,取部分利用 XRD 进行矿物分析。

2.3.2 电感耦合等离子体发射光谱法分析主量元素

IRIS Intrepid II XSP 型电感耦合等离子体发射

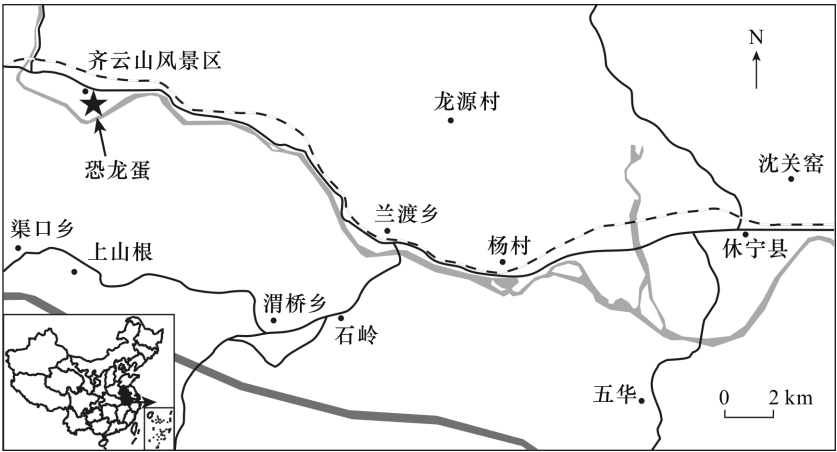


图 1 安徽齐云山恐龙蛋地理位置图

Fig. 1 The location of Qiyunshan dinosaur eggs from Anhui Province

光谱仪(ICP-OES,美国 ThermoFisher 公司)。仪器工作参数:功率 1150 W,辅助气(Ar)流量 1.0 L/min,雾化器压力 32.1 psi,扫描次数 1 次,观测方式为垂直和水平,总采集时间 10 s,曝光时间 5 s。分析前对样品进行必要的前处理,处理步骤如下。

用电子天平称取研磨过筛后的样品 0.1 g (精确到 0.001 g)置于聚四氟乙烯消解罐中,分别在消解罐中加入 10 mL 硝酸、10 mL 氢氟酸、6 mL 高氯酸(配比为 5:5:3),置于电热板上加热到 200℃消解两天,待样品消解至透明少量后开盖赶酸。赶酸结束加入 0.1 mL 浓盐酸以便将罐底的剩余样品溶解至酸中,稀释定容到 25 mL,低温保存。取稀释后的样品于离心管中,通过 ICP-OES 测试主量元素含量。

2.3.3 电感耦合等离子体质谱法分析微量元素

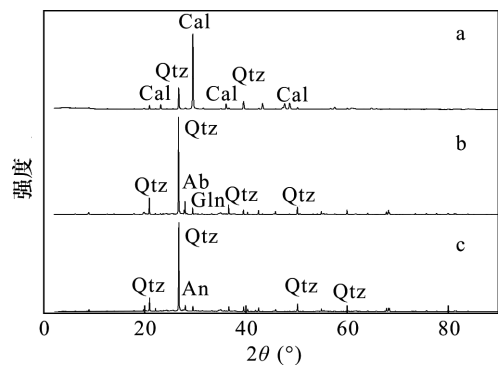
iCAP Q 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS,美国 ThermoFisher 公司)。仪器工作参数为:功率 1350 W,冷却气(Ar)流量 14.0 L/min,辅助气(Ar)流量 0.8 L/min,雾化气(Ar)流量 1.0 L/min,采样锥(Ni)孔径 1.0 mm,频率 1.920 MHz,测量方式跳峰,扫描次数 30 次,停留时间/通道 30 ms,每个质量通道数为 1,总采集时间 40 s。样品前处理步骤同 ICP-OES,随后通过 ICP-MS 测试稀释后样品中的微量元素含量。

3 结果与讨论

3.1 恐龙蛋宏观矿物组成

采用 XRD 对齐云山恐龙蛋的蛋壳、蛋核及围岩进行分析,结果显示,蛋壳主要由方解石和石英组成(图 2a),而蛋核(图 2b)及围岩(图 2c)的主要组成矿物为石英和长石,表明蛋壳与其内外物质组成有所差别。新发现的恐龙蛋位于徽州组的紫红色岩屑砂岩中,而围岩中检测到的海绿石正是组成砂岩的矿物,表明分析的准确性。

对比蛋核与围岩的 XRD 图谱,两者谱峰趋势基本一致,且宏观矿物组成类似,这意味着恐龙蛋被掩埋后,蛋外围岩与蛋内物质可能通过蛋壳中的孔隙发生了替换和填充。李艳芳等^[35]利用 XRD 和 XRF 对河南西峡恐龙蛋内外物质研究后发现,其矿物组成相似,认为是蛋壳破损导致,并推测出恐龙蛋的沉积环境可能为浅海相。而廖昱博等^[36]利用激光显微拉曼光谱对江西信丰恐龙蛋的矿物研究后发现,蛋内外物质并不相同,认为在石化过程中蛋化石没



a—蛋壳;b—蛋核;c—围岩。Cal—方解石,Qtz—石英,An—钙长石,Ab—钠长石,Gln—海绿石。

图 2 齐云山恐龙蛋壳、蛋核及围岩 XRD 图谱

Fig. 2 XRD diagrams of dinosaur eggshell, egg core and surrounding rock in Qiyunshan

有破损。因此齐云山恐龙蛋内外矿物如此相似的原因,可能是由于岩石挤压及流水搬运作用导致恐龙蛋破损,使得蛋外围岩与内部蛋核物质发生了交换。

3.2 恐龙蛋元素组成及古环境分析

3.2.1 主量元素组成

利用 ICP-OES 法对 10 个样品进行主量元素测试,测试结果见表 1。根据表 1 可知,恐龙蛋壳中 Ca 元素含量变化范围为 $52788.3 \times 10^{-6} \sim 56977.4 \times 10^{-6}$,是蛋核及围岩中 Ca 含量的近 5 倍,比上覆恐龙足迹层位沉积岩中 Ca 含量的平均值 4311.1×10^{-6} 高出一个数量级,说明恐龙蛋化石蛋壳主要由 Ca 元素组成,其次是 Na、Mg、K、Al 和 Fe。结合对蛋壳的 XRD 分析结果可知,恐龙蛋主要由碳酸钙组成。本实验选取的蛋壳镜下切片显示其蛋壳单元未被次生方解石取代,另外在掩埋过程中并没有发生重结晶和成岩蚀变过程,因此所测试的主量和微量元素,除了稀土元素和 U 元素以外^[31],基本是蛋壳的组成元素。

3.2.2 微量元素组成

微量元素是生物体进行生命、生长活动必需的营养物质,其富集或缺失都会引起生命体功能的异常^[39]。本文利用 ICP-MS 对齐云山恐龙蛋壳、蛋核、围岩、足迹层位沉积岩及现生鸡蛋和鸟蛋(鹌鹑)蛋壳共 12 个样品的部分微量元素进行测试,测试的元素包括 Sr、Zn、Ba、As、Ti、V、Cr、Co、Ni、Cu、Mn、Pb、La、U 和 Ir,测试结果见表 2。

由表 2 的微量元素数据可知,样品中的 Sr 和 Ir 与背景值相比均有明显异常。经 ICP-MS 测试的安徽现生家鸡蛋壳中 Sr 含量为 619.5×10^{-6} ,与北

表 1 齐云山恐龙蛋壳、蛋核及围岩主量元素含量

Table 1 Contents of the main elements in the dinosaur eggshells, the egg core and the surrounding rock in Qiyunshan

样品编号	类型	含量(10^{-6})					
		Ca	Na	Mg	K	Fe	Al
XN-01	沉积岩	4696.6	14389.3	5954.1	34169.4	19064.4	32706.8
XN-02	沉积岩	3925.5	12019.4	6308.3	28341.1	22538.6	34350.6
XN-03	围岩	11282.2	7343.3	6187.3	22244.1	27389.0	56586.4
XN-04	围岩	10674.1	7248.3	6230.9	25625.4	26717.0	36523.6
XN-05	蛋核	9409.9	7508.0	6294.9	27310.3	26675.5	30746.4
XN-06	蛋核	10823.1	7572.6	6119.1	27414.0	27630.6	42564.7
XN-07	蛋壳	56620.1	1515.8	5434.1	4799.6	5570.7	9742.0
XN-08	蛋壳	56977.4	1487.4	5471.2	4781.3	5057.7	9848.3
XN-09	蛋壳	53841.8	2556.4	6481.4	8525.1	9318.9	16224.8
XN-10	蛋壳	52788.3	2545.3	6438.6	8607.7	9653.9	15503.3

京的现代家鸡蛋壳^[43]中 Sr 含量(561×10^{-6} 和 611×10^{-6})相比没有多大变化,说明实验数据具有可靠性。齐云山 4 个恐龙蛋壳中 Sr 含量变化范围为 $5798.3 \times 10^{-6} \sim 6638.6 \times 10^{-6}$, 平均值为 6199.3×10^{-6} , 比蛋核($249.4 \times 10^{-6} \sim 290.2 \times 10^{-6}$)、围岩($270.8 \times 10^{-6} \sim 340.2 \times 10^{-6}$)及沉积岩($306.6 \times 10^{-6} \sim 353.9 \times 10^{-6}$)中 Sr 含量高出一个数量级还多,而地壳中 Sr 的丰度仅为 375×10^{-6} ^[44], 远小于蛋壳中的含量。Sr 在蛋壳中含量与现代陆生动物体内含量(14×10^{-6})^[31]相比,要高出几个数量级,且均远高于古代($433 \times 10^{-6} \sim 2944 \times 10^{-6}$)和现代($815 \times 10^{-6} \sim 1923 \times 10^{-6}$ 和 $793 \times 10^{-6} \sim 2150 \times 10^{-6}$)富铯类生物介壳化石中 Sr 含量^[45]。与张玉

光等^[31]对河南西峡的 13 个恐龙蛋的元素分析结果相比,齐云山新发现的恐龙蛋中 Sr 含量高于大部分西峡蛋壳中的 Sr 含量($562 \times 10^{-6} \sim 5180 \times 10^{-6}$)。而汪晓伟等^[38]对河南西峡另一批恐龙蛋的元素研究显示,蛋壳中 Sr 含量波动较为明显,最低为 1938×10^{-6} , 远低于本文蛋壳中 Sr 含量。

对比恐龙蛋赋存的围岩和恐龙足迹层位沉积岩中 Sr 的含量可知,上白垩统徽州组围岩中 Sr 的含量低于小岩组恐龙足迹周边沉积岩中 Sr 的含量。显而易见,越靠近白垩纪末期,Sr 元素在地层中越来越富集。

Sr 元素的离子半径大于 Ca,易置换 Ca 元素赋存在含钙矿物中^[44],其富集会 导致蛋壳脆薄,不利于胚胎的孵化和发育^[46],这可能是导致齐云山恐龙蛋孵化率降低的原因之一^[47]。微量元素主要通过成岩蚀变和物质交换两种途径富集^[46]。镜下观察发现恐龙蛋并没有发生成岩蚀变,所以蛋壳中富集的 Sr 元素只可能是通过物质交换进入恐龙体内,进而沉积在蛋壳中。据统计,地壳沉积岩中 Sr 元素的丰度为 20×10^{-6} ^[38],而齐云山新发现的恐龙蛋围岩中 Sr 含量的平均值为 305.5×10^{-6} ,相比于背景值富集了约 15 倍,因此通过摄入 Sr 含量较高的食物,致使恐龙体内及蛋壳中富 Sr 是有可能的。

Ir 元素在地壳中极易亏损,远低于其在地外物质中的含量^[48],因而可根据地内物质和地外物质中 Ir 含量的差异来区分两者^[49]。而 Ir 也是动物体非必需元素,在对北京动物园的非洲鸵鸟蛋及安徽野生扬子鳄蛋的 Ir 含量测试后发现,其含量均小于

表 2 齐云山恐龙蛋壳、蛋核及围岩微量元素含量

Table 2 Contents of the trace elements in the dinosaur eggshells, the egg core and the surrounding rock in Qiyunshan

样品编号	类型	含量(10^{-6})														含量(10^{-12})
		Sr	Zn	Ba	As	Ti	V	Cr	Co	Ni	Cu	Mn	Pb	La	U	Ir
XN-01	沉积岩	353.9	87.7	502.7	54.7	3087.8	103.9	31.0	5.8	10.7	74.4	233.2	25.3	12.6	2.1	422.7
XN-02	沉积岩	306.6	64.8	410.8	22.1	2560.2	72.2	27.4	5.2	9.3	57.0	188.3	21.1	13.4	1.7	351.7
XN-03	围岩	340.2	74.5	451.4	60.0	2561.0	127.7	34.5	8.0	25.4	53.7	501.3	15.1	19.7	1.8	206.3
XN-04	围岩	270.8	78.7	419.4	63.9	2449.4	103.7	35.8	7.6	23.2	51.6	484.1	14.6	16.8	1.7	254.5
XN-05	蛋核	249.4	75.2	320.8	57.6	2516.0	64.8	37.6	7.9	22.0	46.6	502.2	15.8	15.4	1.7	286.9
XN-06	蛋核	290.2	64.2	335.4	63.5	2696.9	94.8	40.4	8.4	23.3	52.2	579.3	16.7	19.5	1.9	311.4
XN-07	蛋壳	6415.2	2.2	204.5	128.7	1375.9	62.0	11.5	4.7	36.9	10.5	1303.4	10.7	9.0	1.1	41.0
XN-08	蛋壳	6638.6	-	217.4	103.8	1318.1	26.0	9.5	4.4	33.4	9.9	1322.5	13.5	8.9	1.1	42.2
XN-09	蛋壳	5945.2	7.4	327.0	123.8	1518.0	22.5	21.9	4.9	30.5	7.0	1698.2	11.5	16.2	1.2	71.4
XN-10	蛋壳	5798.3	8.6	343.6	134.5	1420.2	-	19.4	4.6	28.8	6.8	1636.0	10.6	15.4	1.2	83.7
XN-11	鸡蛋	619.5	516.2	5084.9	364.6	1051.0	7.0	3.7	2.1	31.4	2.6	22.3	11.1	2.1	0.2	13.0
XN-12	鸟蛋	417.8	367.1	4131.3	318.4	942.8	-	1.9	2.0	28.8	3.1	20.1	8.2	1.6	0.2	37.6

注:表格中“-”表示没有相关数据。

10×10^{-12} ^[13,50], 远低于本文测试所得含量。根据表 2 中 Ir 在蛋壳、蛋核、围岩及沉积岩中的含量与背景值($6 \times 10^{-12} \sim 8 \times 10^{-12}$)^[37]相比, Ir 明显异常或超高异常。Ir 在 4 个蛋壳化石中含量的平均值为 59.6×10^{-12} , 最高达到 83.7×10^{-12} , 与赵资奎等^[37]对广东南雄盆地 CGD 剖面蛋壳化石 Ir 含量测试结果相比, 高于其最大值 61.9×10^{-12} ; 且对比 Zhao 等^[13]对该地区 CGN 剖面的 15 个样品 Ir 元素测试结果, 除了 4 个含量异常点, 其余样品的 Ir 含量都小于 29.7×10^{-12} , 均低于本文蛋壳的最小值。而 Ir 在围岩中的含量比蛋壳中还要高出一个数量级, 最高达到 254.5×10^{-12} , 比河南西峡蛋化石围岩的最高值(65.6×10^{-12})还要高出 3 倍^[31,49]。此外, 对比上白垩统徽州组蛋壳围岩中 Ir 元素和小岩组足迹层位沉积岩中 Ir 元素的含量可知, 越靠近 K/T 界线, Ir 元素含量越高, 最高达到 422.7×10^{-12} , 表明白垩纪末期恐龙的绝灭可能与 Ir 元素的异常和不断增加有关^[13]。

蛋壳中 Ir 含量异常的原因可能是, 食物、饮水及空气等环境来源中较高的 Ir 进入恐龙体内, 进而富集在恐龙胚胎及蛋壳中^[30,37]。而关于沉积环境中 Ir 含量超高的原因, 国内外学者都曾有报道, 目前认为主要有以下两种原因: 突变因素(如行星撞击、超新星爆发)和渐变因素(如环境变化)^[51-53]。针对环境变化致使 Ir 含量异常, 国内外学者对蛋化石的微量元素及碳、氧稳定同位素研究发现, 晚白垩世恐龙灭绝是一个长期的过程, 在微量元素富集污染的同时, 气候的变化使得胚胎孵化率下降, 从而导致恐龙的逐渐灭绝^[11,37,46,54-57], 这与行星撞击这一因素并不相同。

表 2 中的其他微量元素, 如 As、Mn、Pb 等在蛋壳中的含量也有不同程度的富集, 可能是由于环境中微量元素的污染在恐龙体内得到了富集^[57]。有毒或有害微量元素进入体内沉积在胚胎中, 而蛋壳中可对 As 起解毒作用的 Zn 含量相对较低, Zn 的不足或 Mn 的过多都会对恐龙蛋壳及胚胎的正常形成产生影响^[30]。此外, 国外学者将不同浓度的 Pb 添加到欧洲红隼(*Falco tinnunculus*)和茶隼(*Falco sparverius*)的食谱中后, 发现 Pb 浓度高低对鸟蛋壳的厚薄有影响^[37,58-59]。因此, As、Mn、Pb 等有毒或有害元素的富集及 Zn 等有益元素的缺乏可能导致机体中毒, 使得恐龙胚胎孵化率下降, 进而导致齐云山晚白垩世恐龙的灭绝。

3.2.3 安徽齐云山晚白垩世古环境分析

白垩纪恐龙的筑巢环境表明, 恐龙蛋化石的沉积环境一般为内陆洪泛平原和冲积扇^[2], 而休宁盆地由于缺少海相化石, 因此属于陆相沉积。安徽齐云山地区是我国东南部典型的峰丛式丹霞地貌, 新发现的恐龙蛋位于上白垩统徽州组, 其沉积环境是以冲积扇、扇三角洲及湖泊相为主的陆相沉积, 物质基础为紫红色的陆源碎屑岩, 这正是由于当时干旱炎热的气候条件导致地层中的 Fe 氧化, 以 Fe_2O_3 的形式赋存在沉积岩中, 而表 1 中 Fe 含量的增加正好说明了这一变化。且 Ir 为亲铁性元素^[44], 与地壳岩石中 Fe 含量有密切关系^[31]。

将表 1 和表 2 中所测试的 Fe 和 Ir 元素含量对比发现, 两者之间存在正相关性, 其变化趋势基本一致, 如图 3。围岩中 Fe 元素含量的增加, 表明安徽齐云山地区晚白垩世恐龙动物群的生活环境为干旱炎热的气候条件, 而上覆小岩组恐龙足迹围岩中 Sr 和 Ir 元素的含量比下伏徽州组恐龙蛋围岩中含量要高, 说明越靠近 K/T 界线, Sr 和 Ir 含量增加。且汪晓伟等^[38]对河南西峡晚白垩世恐龙蛋中微量元素进行测试, 元素组成特征表明该地区为干旱、半干旱的气候条件, 并认为高异常的 Sr 和 Ir 可能会导致恐龙灭绝。因此, 白垩纪末期恐龙的绝灭可能与 Sr 和 Ir 含量的异常及干旱炎热的气候条件有关。

此外, 有机质在蛋壳钙化过程中起着重要作用^[30,60-61], 而蛋壳及沉积岩中与有机质密切相关的元素 La 和 U 含量极低, 一方面可能是土壤中有有机质在淋滤及风化作用下使得其含量逐渐降低, 另一

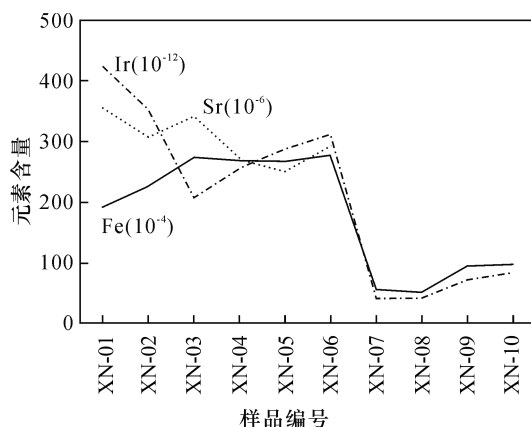


图 3 齐云山恐龙蛋壳、蛋核及围岩中 Sr、Fe 和 Ir 含量变化
Fig. 3 Elemental changes of Sr, Fe and Ir in the dinosaur eggshells, egg core and surrounding rock in Qiyunshan

方面可能是早期沉积环境中有机质的相对缺乏,这两个因素都反映了晚白垩世干旱炎热的气候条件。

4 结论

本文根据 XRD、ICP - OES 及 ICP - MS 综合分析了齐云山恐龙蛋的宏观矿物组成和元素组成特征。XRD 和 ICP - OES 测试结果发现,蛋壳主要矿物组成为方解石和石英,主要组成元素为 Ca,其次是 Na、Mg、K、Al 和 Fe。对齐云山恐龙蛋蛋壳、蛋壳核、围岩及上覆足迹层位普通沉积岩微量元素测试发现,Sr 和 Ir 元素含量有明显异常,并高于广东南雄和河南西峡等其他蛋化石丰富的盆地中元素含量。分析其原因包括两个方面:一是恐龙与外界进行物质交换导致 Sr 元素的富集,并沉积在钙质蛋壳中使得蛋壳脆薄变软;二是 Ir 元素及其他有毒或有害元素(如 As、Pb、Mn 等)的富集和有益元素 Zn 的缺乏使得恐龙蛋在发育时期受到污染。这两个因素的共同作用导致齐云山恐龙蛋孵化率降低,成为恐龙灭绝的原因之一。

本文通过 XRD、ICP - OES 及 ICP - MS 分析,综合研究安徽齐云山地区恐龙蛋及围岩的矿物和元素组成,实验结论相一致,这为齐云山恐龙蛋的研究提供了基础资料,并为我国晚白垩世恐龙蛋矿物和元素组成的研究提供了新的内容。

致谢: 野外资料收集期间得到齐云山国家地质公园博物馆梁卫国,安徽省博物馆黄建东、何学智,以及安徽大学现代实验技术分析中心赵慎强老师和崇汉宝老师的帮助,在此表示感谢!

5 参考文献

[1] Liang X Q, Wen S N, Yang D S, et al. Dinosaur eggs and dinosaur egg-bearing deposits (Upper Cretaceous) of Henan Province, China: Occurrences, palaeoenvironments, taphonomy and preservation [J]. Progress in Natural Science: Materials International, 2009, 19 (11) : 1587 - 1601.

[2] Paik I S, Huh M, Kim H J. Dinosaur egg-bearing deposits (Upper Cretaceous) of Boseong, Korea: Occurrence, palaeoenvironments, taphonomy, and preservation [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2004, 205 (1 - 2) : 155 - 168.

[3] Paik I S, Kim H J, Huh M. Dinosaur egg deposits in the Cretaceous Gyeongsang Supergroup, Korea: Diversity and paleobiological implications [J]. Journal of Asian Earth

Sciences, 2012, 56 (3) : 135 - 146.

[4] Kim C B, Al-Aasm I S, Ghazban F, et al. Stable isotopic composition of dinosaur eggshells and pedogenic carbonates in the Upper Cretaceous Seonso Formation, South Korea: Palaeoenvironmental and diagenetic implications [J]. Cretaceous Research, 2009, 30 (1) : 93 - 99.

[5] Montanari S, Higgins P, Norell M A. Dinosaur eggshell and tooth enamel geochemistry as an indicator of Mongolian Late Cretaceous palaeoenvironments [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2013, 370 (4) : 158 - 166.

[6] Riera V, Anadón P, Oms O, et al. Dinosaur eggshell isotope geochemistry as tools of palaeoenvironmental reconstruction for the Upper Cretaceous from the Tremp Formation (Southern Pyrenees) [J]. Sedimentary Geology, 2013, 294 (3) : 356 - 370.

[7] Sellés A G, Bravo A M, Delclòs X, et al. Dinosaur eggs in the Upper Cretaceous of the Coll De Nargó Area, Lleida Province, South-Central Pyrenees, Spain: Oodiversity, biostratigraphy and their implications [J]. Cretaceous Research, 2013, 40 : 10 - 20.

[8] Tanaka K, Zelenitsky D K, Saegusa H, et al. Dinosaur eggshell assemblage from Japan reveals unknown diversity of small theropods [J]. Cretaceous Research, 2016, 57 : 350 - 363.

[9] 赵资奎. 河南内乡新的恐龙蛋类型和恐龙脚印化石的发现及其意义 [J]. 古脊椎动物学报, 1979, 17 (4) : 304 - 309.

Zhao Z K. Discovery of the dinosaurian eggs and footprint from Neixiang County, Henan Province [J]. Vertebrata Palasiatica, 1979, 17 (4) : 304 - 309.

[10] Sarkar A, Bhattacharya S K, Mohabey D M. Stable-isotope analyses of dinosaur eggshells: Palaeoenvironmental implications [J]. Geology, 1991, 19 (11) : 1068 - 1071.

[11] 方晓思, 卢立伍, 蒋严根, 等. 浙江天台盆地蛋化石与恐龙的绝灭 [J]. 地质通报, 2003, 22 (7) : 512 - 520.

Fang X S, Lu L W, Jiang Y G, et al. Cretaceous fossil eggs from the Tiantai basin of Zhejiang, with a discussion on the extinction of dinosaurs [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22 (7) : 512 - 520.

[12] Gottfried M D, O'connor P M, Jackson F D, et al. Dinosaur eggshell from the Red Sandstone Group of Tanzania [J]. Journal of Vertebrate Paleontology, 2004, 24 (2) : 494 - 497.

[13] Zhao Z K, Mao X Y, Chai Z F, et al. Geochemical environmental changes and dinosaur extinction during the Cretaceous-Paleogene (K/T) Transition in the

- Nanxiong Basin, South China: Evidence from dinosaur eggshells[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(5): 806–815.
- [14] Zelenitsky D K, Therrien F, Tanaka K, et al. Dinosaur eggshells from the Santonian Milk River Formation of Alberta, Canada [J]. Cretaceous Research, 2017, 74: 181–187.
- [15] 赵资奎, 蒋元凯. 山东莱阳恐龙蛋化石的显微结构研究[J]. 中国科学(A辑), 1974, 17(1): 63–72.
Zhao Z K, Jiang Y K. The microstructure of dinosaur eggs from Laiyang county, Shandong Province [J]. Science China (Earth Sciences), 1974, 17(1): 63–72.
- [16] 刘金远, 赵资奎. 山东莱阳晚白垩世恐龙蛋化石——新类型[J]. 古脊椎动物学报, 2004, 42(2): 166–170.
Liu J Y, Zhao Z K. A new oospecies of the dinosaur eggs (*DICTYOOLITHUS*) from Laiyang, Shandong Province [J]. Vertebrata Palasiatica, 2004, 42(2): 166–170.
- [17] 王强, 赵资奎, 汪筱林, 等. 浙江天台晚白垩世巨型长形蛋科一新属及巨型长形蛋科的分类订正[J]. 古生物学报, 2010, 49(1): 73–86.
Wang Q, Zhao Z K, Wang X L, et al. A new oogenus of Macroelongatoolithid eggs from the Upper Cretaceous Chichengshan Formation of the Tiantai Basin, Zhejiang Province and a revision of the Macroelongatoolithids[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2010, 49(1): 73–86.
- [18] 张蜀康. 中国白垩纪蜂窝蛋化石的分类订正[J]. 古脊椎动物学报, 2010, 48(3): 203–219.
Zhang S K. A parataxonomic revision of the Cretaceous Faveoolithid eggs of China[J]. Vertebrata Palasiatica, 2010, 48(3): 203–219.
- [19] 刘金远, 王强, 赵资奎, 等. 辽宁昌图白垩统泉头组恐龙蛋化石的分类订正[J]. 古脊椎动物学报, 2013, 51(4): 278–288.
Liu J Y, Wang Q, Zhao Z K, et al. A parataxonomic revision of spheroolithid eggs from the Upper Cretaceous Quantou Formation in Changtu, Liaoning [J]. Vertebrata Palasiatica, 2013, 51(4): 278–288.
- [20] 王强, 赵资奎, 汪筱林, 等. 浙江天台盆地晚白垩世恐龙蛋新类型(英文)[J]. 古脊椎动物学报, 2011, 49(4): 446–449.
Wang Q, Zhao Z K, Wang X L, et al. New ootypes of dinosaur eggs from the Late Cretaceous in Tiantai Basin, Zhejiang Province, China [J]. Vertebrata Palasiatica, 2011, 49(4): 446–449.
- [21] Xie J F, Zhang S K, Jin X S, et al. A new type of dinosaur eggs from Early Cretaceous of Gansu Province, China [J]. Vertebrata Palasiatica, 2016, 54(1): 79–88.
- [22] 张蜀康, 王强. 记新疆吐鲁番盆地椭圆形蛋类一新种[J]. 古脊椎动物学报, 2010, 48(1): 71–75.
Zhang S K, Wang Q. A new oospecies of Ovaloolithids from Turpan Basin in Xinjiang, China [J]. Vertebrata Palasiatica, 2010, 48(1): 71–75.
- [23] 杨钟健. 广东南雄、始兴、江西赣州的蛋化石[J]. 古脊椎动物学报, 1965, 9(2): 141–179.
Yang Z J. Fossil eggs from Nanhsiung, Kwangtung and Kanchou, Kiangsi [J]. Vertebrata Palasiatica, 1965, 9(2): 141–179.
- [24] 方晓思, 李佩贤, 张志军, 等. 广东南雄白垩系及恐龙蛋到鸟蛋演化研究[J]. 地球学报, 2009, 30(2): 167–186.
Fang X S, Li P X, Zhang Z J, et al. Cretaceous strata in Nanxiong Basin of Guangdong and the evolution from the dinosaur egg to the bird egg [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, 30(2): 167–186.
- [25] 曾敏德, 张金鉴. 湖南洞庭盆地西部的恐龙蛋化石[J]. 古脊椎动物学报, 1979, 17(2): 131–136.
Zeng M D, Zhang J J. On the dinosaurian eggs from the western Dongting Basin, Hunan [J]. Vertebrata Palasiatica, 1979, 17(2): 131–136.
- [26] 周世全, 冯祖杰, 张国建. 河南恐龙蛋化石组合类型及其地层时代意义[J]. 现代地质, 2001, 15(4): 362–369.
Zhou S Q, Feng Z J, Zhang G J. Oolithias assemblages in Henan Province and its age significances [J]. Geoscience, 2001, 15(4): 362–369.
- [27] Chassagne-Manoukian M, Haddoumi H, Cappetta H, et al. Dating the “Red Beds” of the Eastern Moroccan High Plateaus: Evidence from late Late Cretaceous charophytes and dinosaur eggshells[J]. Geobios, 2013, 46(5): 371–379.
- [28] Wang X L, Wang Q, Jiang S X, et al. Dinosaur egg faunas of the Upper Cretaceous Terrestrial Red Beds of China and their stratigraphical significance [J]. Journal of Stratigraphy, 2012, 36(2): 400–416.
- [29] Grigorescu D, Garcia G, Csiki Z, et al. Uppermost Cretaceous megaloolithid eggs from the Hateg Basin, Romania, associated with hadrosaur hatchlings: Search for explanation [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2010, 293(3–4): 360–374.
- [30] Zhao Z K, Mao X Y, Chai Z F, et al. A possible causal relationship between extinction of dinosaurs and K/T iridium enrichment in the Nanxiong Basin, South China: Evidence from dinosaur eggshells[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2002, 178: 1–17.
- [31] 张玉光, 裴静. 河南西峡上白垩统恐龙蛋化石微量元素组成及古气候探讨[J]. 古生物学报, 2004, 43(2):

- 297–302.
- Zhang Y G, Pei J. Trace element combinations in Upper Cretaceous dinosaur egg fossils from Xixia Basin and discussion on paleoclimate [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2004, 43 (2): 297–302.
- [32] Bojar A V, Csiki Z, Grigorescu D. Stable isotope distribution in Maastrichtian Vertebrates and paleosols from the Hateg Basin, South Carpathians [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2010, 293 (3–4): 329–342.
- [33] Deeming D C. Ultrastructural and functional morphology of eggshells supports the idea that dinosaur eggs were incubated buried in a substrate [J]. *Palaeontology*, 2006, 49 (1): 171–185.
- [34] Tobin T S, Ward P D, Steig E J, et al. Extinction patterns, $\delta^{18}\text{O}$ trends, and magnetostratigraphy from a southern high-latitude Cretaceous-Paleogene section: Links with Deccan volcanism [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, 350–352: 180–188.
- [35] 李艳芳, 蔡厚安, 梁汉东, 等. 西峡晚白垩世恐龙蛋化石宏观矿物组成研究及意义 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2006, 36 (2): 158–163.
- Li Y F, Cai H A, Liang H D, et al. A study on the macro mineral compositions of the dinosaur egg fossils in the Late Cretaceous collected from Xixia Basin, Henan Province [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2006, 36 (2): 158–163.
- [36] 廖昱博, 孟耀勇, 雷浩东, 等. 江西信丰恐龙蛋化石碎片的显微喇曼光谱研究 [J]. *激光杂志*, 2008, 29 (6): 81–82.
- Liao Y B, Meng Y Y, Lei H D, et al. Micro-Raman spectroscopic study of fossil dinosaur egg fragments from Jiangxi Xinfeng [J]. *Laser Journal*, 2008, 29 (6): 81–82.
- [37] 赵资奎, 毛雪瑛, 柴之芳, 等. 广东南雄盆地白垩系第三系(K/T)交界恐龙蛋壳的铍丰度异常 [J]. *中国科学(D辑)*, 1998, 28 (5): 425–430.
- Zhao Z K, Mao X Y, Chai Z F, et al. Iridium abundance anomaly of dinosaur eggshell in the Cretaceous-Paleogene (K/T) boundary in Nanxiong Basin, Guangdong Province [J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 28 (5): 425–430.
- [38] 汪晓伟, 姚肖永, 徐学义. 河南西峡晚白垩世恐龙蛋化石壳微量元素组成及其对恐龙灭绝的指示意义 [J]. *岩矿测试*, 2015, 34 (5): 520–527.
- Wang X W, Yao X Y, Xu X Y. Trace element determination of Late Cretaceous dinosaur eggshell fossils from Xixia Basin, Henan Province by ICP-OES and its implications for extinction of dinosaurs [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2015, 34 (5): 520–527.
- [39] 王强, 黄建东, 汪筱林, 等. 皖南晚白垩世恐龙蛋化石新类型 [C]//中国古生物学会: 中国古生物学会第十一次全国会员代表大会暨第27届学术年会文集, 2013: 173.
- Wang Q, Huang J D, Wang X L, et al. The new type of dinosaur eggs from the Upper Cretaceous of South Anhui [C]//The Palaeontological Society of China: The Proceedings of The 11th National Congress of the Palaeontological Society of China (PSC) and The 27th Annual Conference of PSC, 2013: 173.
- [40] 余心起. 皖南恐龙类化石特征及其地层划分意义 [J]. *中国区域地质*, 1998, 17 (3): 278–284.
- Yu X Q. Characteristics of dinosaur fossils from Southern Anhui and their significance for stratigraphic division [J]. *Regional Geology of China*, 1998, 17 (3): 278–284.
- [41] 余心起, 小林快次, 吕君昌. 安徽省黄山地区恐龙(足迹)脚印化石的初步研究 [J]. *古脊椎动物学报*, 1999, 37 (4): 285–290.
- Yu X Q, Kobayashi Y, Lü J C. The preliminary study of the dinosaur footprints from Huangshan, Anhui Province [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1999, 37 (4): 285–290.
- [42] 余心起, 王德恩. 安徽黄山地区侏罗纪—白垩纪层序地层学特征 [J]. *现代地质*, 2001, 15 (1): 27–34.
- Yu X Q, Wang D E. Jurassic—Cretaceous sequence stratigraphy of Huangshan area in South Anhui [J]. *Geoscience*, 2001, 15 (1): 27–34.
- [43] 朱光有, 钟建华, 周瑶琪, 等. 河南西峡晚白垩世恐龙蛋化石壳超高异常Sr的发现及其意义 [J]. *沉积学报*, 1999, 17 (4): 659–662.
- Zhu G Y, Zhong J H, Zhou Y Q, et al. The dinosaur eggshell fossils of the Late Cretaceous period from Xixia Basin, Henan Province, China: Supperhigh content of strontium and its significance [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17 (4): 659–662.
- [44] 柴之芳, 祝汉民. 微量元素化学概论 [M]. 北京: 原子能出版社, 1994: 1–286.
- Chai Z F, Zhu H M. An Introduction to Trace Element Chemistry [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1994: 1–286.
- [45] 卢武长, 崔秉荃, 杨绍全, 等. 甘溪剖面泥盆纪海相碳酸盐岩的同位素地层曲线 [J]. *沉积学报*, 1994, 12 (3): 12–20.
- Lu W C, Cui B Q, Yang S Q, et al. Isotope stratigraphic curves of Devonian marine carbonates in Ganqi profile [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12 (3): 12–20.

- [46] 陈友红,朱节清,王晓红,等. 恐龙蛋壳化石微区的元素组成与分布的质子探针研究[J]. 核技术,1997,20(3):158-163.
Chen Y H, Zhu J Q, Wang X H, et al. Trace element composition and distribution in micron area of dinosaur eggshell fossils determined by proton microprobe[J]. Nuclear Techniques, 1997, 20(3):158-163.
- [47] 张玉光,田晓阳. 再论恐龙绝灭[J]. 广东地质,2003,18(4):27-33.
Zhang Y G, Tian X Y. On the extinction of dinosaur again[J]. Guangdong Geology, 2003, 18(4):27-33.
- [48] 马配学,柴之芳,毛雪瑛,等. 地外撞击作用与地球灾变环境[J]. 地质论评,1995,41(1):20-27.
Ma P X, Chai Z F, Mao X Y, et al. Extraterrestrial impact events and catastrophic environment of the Earth[J]. Geological Review, 1995, 41(1):20-27.
- [49] 柴之芳,马淑兰,毛雪瑛,等. 浙江长兴二叠系/三叠系界线剖面的元素地球化学特征[J]. 地质学报,1986(2):139-150.
Chai Z F, Ma S L, Mao X Y, et al. Elemental geochemical characters at the Permian-Triassic boundary section in Changxin, Zhejiang, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1986(2):139-150.
- [50] Yang G C, Mao X Y, Wang J C, et al. A study on the relationship between iridium concentration in hen eggshell and iridium-enriched feed by NAA[J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2001, 247(3):567-570.
- [51] 周世全,冯祖杰,王德有. 河南西峡盆地恐龙蛋化石及略论恐龙绝灭问题[J]. 沉积与特提斯地质,1998,18(5):57-63.
Zhou S Q, Feng Z J, Wang D Y. The dinosaur egg fossils from the Xixia Basin, Henan with discussions on dinosaur extinction [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 1998, 18(5):57-63.
- [52] Russell D A. The mass extinctions of the Late Mesozoic[J]. Scientific American, 1982, 246(1):58-65.
- [53] Alvarez L W, Alvarez W, Asaro F, et al. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction[J]. Science, 1980, 208(4448):1095-1108.
- [54] Yang W D, Chen N S, Ni S J, et al. Carbon and oxygen isotopic compositions of the carbonate rocks and the dinosaur eggshells in the Cretaceous Red Beds and their implication for paleoenvironment [J]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38(23):1985-1989.
- [55] 赵资奎,严正,叶莲芳. 山东莱阳恐龙蛋化石的氧、碳稳定同位素组成及其与古环境的关系[J]. 古脊椎动物学报,1983,21(3):204-209.
Zhao Z K, Yan Z, Ye L F. Stable isotope composition of oxygen and carbon in the dinosaur eggshells from Laiyang, Shandong Province[J]. Vertebrata Palasiatica, 1983, 21(3):204-209.
- [56] 赵资奎,叶捷,李华梅,等. 广东省南雄盆地白垩系—第三系交界恐龙绝灭问题[J]. 古脊椎动物学报,1991,29(1):1-20.
Zhao Z K, Ye J, Li H M, et al. Extinction of dinosaurs at Cretaceous—Paleogene boundary in Nanxiong Basin, Guangdong Province [J]. Vertebrata Palasiatica, 1991, 29(1):1-20.
- [57] 赵资奎,严正. 广东南雄盆地白垩系—第三系界线剖面恐龙蛋壳稳定同位素记录:地层及古环境意义[J]. 中国科学(D辑),2000,30(2):135-141.
Zhao Z K, Yan Z. Stable isotope records of dinosaur eggs from the Cretaceous—Paleogene boundary in Nanxiong Basin, Guangdong Province: Stratigraphic and paleoenvironmental significance [J]. Science in China (Series D), 2000, 30(2):135-141.
- [58] Grandjean P. Possible effect of lead on egg-shell thickness in Kestrels 1874-1974 [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 1976, 16(1):101-106.
- [59] Pattee O H. Eggshell Thickness and reproduction in American Kestrels exposed to chronic dietary lead[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1984, 13(1):29-34.
- [60] Krampitz G P. Structure of the organic matrix in mollusc shells and avian eggshells [M]//Nancollas G H. Biological Mineralization and Demineralization. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1982: 219-232.
- [61] Krampitz G, Witt W. Biochemical aspects of biomineralization [J]. Topics in Current Chemistry, 1979, 78: 57-144.

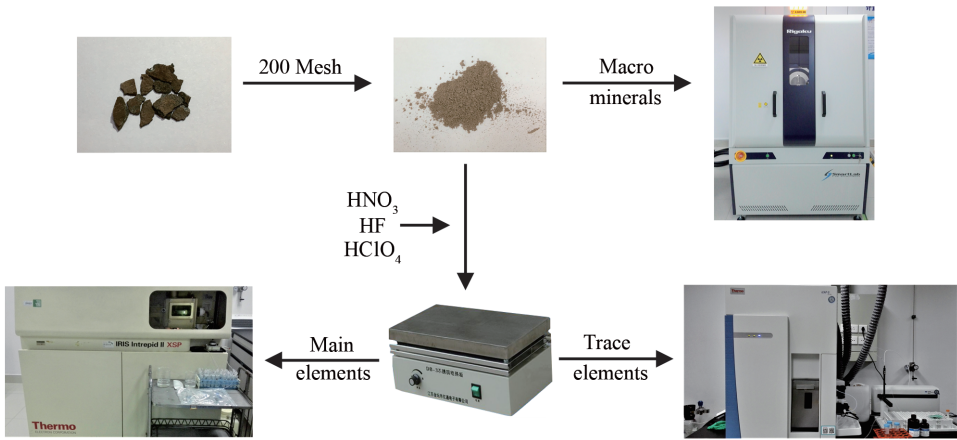
Mineral and Elemental Composition of Late Cretaceous Dinosaur Eggs in Qiyunshan Area, Anhui Province and Its Implication for Palaeoenvironmental Analysis

JIANG Qin¹, HE Qing^{1*}, ZHENG Liu-gen¹, HU Yi²

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China;
2. Qiyun Mountain Administrative Committee, Huangshan 245451, China)

Highlights

- A preliminary study of the newly found dinosaur eggs in Qiyunshan area, Xiuning Basin is significant to restore the living environment of the dinosaur fauna and paleoclimate in this area.
- XRD, ICP-OES and ICP-MS were used to analyze the mineral and elemental composition of dinosaur eggs.
- Experimental results show that the dinosaur eggshells are composed of calcite and quartz, major component element is Ca while Sr and Ir are abnormal high which provides new content of studying dinosaur eggs in this area.



Abstract: The well-preserved dinosaur egg fossils recently found in Qiyunshan area, Anhui Province are the key to studying the living environment and the extinction of dinosaur fauna in the Late Cretaceous period. In order to discuss the palaeoenvironment and palaeoclimate, X-ray Diffraction (XRD), Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) were used to analyze the composition of macro minerals, major elements and trace elements of the dinosaur eggshells, egg core and the surrounding rock. The results show that the main minerals of dinosaur eggshells are calcite and quartz whereas the mineral of the interior is the same as the exterior of the eggshell and is mainly quartz. Major elements include Ca, Na, Mg, K, Al, Fe, whereas trace elements include Sr, Zn, Ba, As, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Mn, Pb, La, U, Ir. The average content of Sr in the eggshells was 6199.3×10^{-6} , higher than most of the eggshells from Xixia of Henan province and Nanxiong of Guangdong province. The average content of Ir in the eggshells was 59.6×10^{-12} . Sr and Ir show an obvious abnormality compared with the background values, which may be caused by absorption of harmful elements during material exchange between dinosaur body and the outside world. The accumulation of As, Mn, and Pb and the lack of Zn may lead to the poisoning of dinosaurs and then extinction. The increased Fe content in the surrounding rock indicates that the palaeoclimate in Qiyunshan area during the Late Cretaceous was dry and hot, and the content of Ir, which has a positive correlation with Fe, increased with the increase of Fe. Moreover, the closer to the Cretaceous-Paleogene (K/T) boundary, the higher is the content of Sr and Ir in the surrounding rock, which may be one of the reasons for the extinction of the dinosaur fauna in the area. This conclusion provides a basis for the study of the living environment of the dinosaur fauna in Qiyunshan area.

Key words: dinosaur eggs; mineral composition; elemental composition; Late Cretaceous; Qiyunshan area