

近十五年来蛋化石研究概况

方晓思, 岳 昭, 凌 虹

中国地质博物馆, 北京 100034

摘 要: 1993 年至 2008 年是中国蛋化石研究不断扩展与深入的时期。这期间的研究更侧重于解决盆地地层与蛋化石演化序列间的联系; 开展了翼龙化石胚胎学研究; 通过分子古生物学分析, 尝试了获取古代 DNA 的方法; 河南西峡恐龙蛋化石博物馆的建立, 成为展示这一阶段进展的突出标志。特别是近几年来, 通过大量资料积累, 发现并揭示出恐龙蛋的变异类型与鸟蛋间的联系, 由此填补了从恐龙到鸟的演化过程中蛋壳形态结构变化的空白。文中还介绍了我国白垩纪几个沉积盆地的生物地层和一些具有特色的蛋化石种类; 提出了新的蛋化石分类意见, 以及与蛋化石有关的生存行为方面的思考。

关键词: 蛋化石; 中国

中图分类号: Q915.21 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)04-523-20

Review of the Past 15 years' Research on Fossil Eggs in China

FANF Xiao-si, YUE Zhao, LING Hong

Geological Museum of China, Beijing 100034

Abstract: The recent 15 years (1993-2008) is a period with marked progress in China's research on fossil eggs. Research of this area was focused on the relation of sedimentary basin stratigraphy and fossil egg succession in the sediments. Studies on pterosaur embryo contained in fossil egg; the first attempt to get DNA from fossil eggs by using molecular biology method are examples of this progress. The establishment of Xixia Fossil Egg Museum can be taken as a mark of this achievement. The research, among others, has revealed the similarity and difference in egg shell structure between dinosaur and bird, which sheds light on the evolution from reptile to bird. This paper gives descriptions to biostratigraphy of Cretaceous sedimentary basins and egg fossils from these basins; as well as new ideas on fossil egg classification and the behavior of the animals that may have relation to the eggs.

Key words: fossil eggs; China

1 我国蛋化石分布及其研究进展

地质时期的蛋化石是卵生脊椎动物遗留下的生命记录, 它们通过产卵繁衍后代。其卵壳能够有效控制着温度与湿度变化, 以适应外界环境, 保护胚胎顺利发育。然而在成岩作用下, 地层中出露的蛋类多数都被孵化, 并且蛋壳已经石化, 保存下来的部分仅是一个空壳, 成为生物体阶段性的信息。它

们并不构成生物自身的某个部位, 而是属于恐龙、鳄鱼、龟鳖、鸟类等生物的遗留物, 因此这类化石被称为遗迹化石。尽管如此, 蛋化石标本在极少数的蛋壳中也能见到胚胎(图 1), 它保留了蛋壳与生物之间的对应关系, 这类化石极其珍贵, 也具有极高的科研价值。目前在所见到的蛋化石中恐龙蛋数量居多, 其外部形态一般为圆形、椭圆形、长形。圆形蛋的个体大小可从 3 cm 到 20 多 cm; 长形蛋可以

本文由中国地质博物馆研究项目资助。

收稿日期: 2009-05-03; 改回日期: 2009-07-24。

第一作者简介: 方晓思, 男, 1949 年生。研究员。从事微体古生物、恐龙动物及中生代地层学研究。通讯地址: 100034, 北京西四羊肉胡同 15 号。电话: 010-66557461。E-mail: fangxiaosi@sina.com。



图 1 中国地质博物馆典藏的胚胎蛋化石

Fig. 1 Embryonic egg fossil collection in Geological Museum of China

a-i-龟鳖类胚胎连续切片(产于西峡一带); h-产于广东南雄恐龙蛋胚胎标本.

a-i-Serial sections of testudoid embryonic fossil in the Xixia area; h- Embryonic dinosaur egg from the Nanxiong, Guangdong

从 4~5 cm 到 50 多 cm。据统计在全球范围内蛋化石产地主要集中在我国, 蒙古(南部戈壁的巴仁扎达)、印度、法国(南部)、罗马尼亚、葡萄牙、西班牙、阿根廷(T₁)、北美、非洲(南部)等地区也都有报道。

中国是世界上恐龙蛋化石埋藏异常丰富的国家, 1922 年曾在内蒙古二连浩特首次作过报道, 到目前为止, 又先后在新疆、宁夏、甘肃、陕西、吉林、辽宁、山东、广东、江西、浙江、安徽、湖南、江苏、湖北、河南 16 个省、区都找到了恐龙蛋。随着蛋化石相继发现, 相关的研究也广泛开展起来。在早期, 研究内容是以恐龙蛋外部形态描述为主, 后逐渐进入到化石蛋壳显微结构的分析。特别在近 15 年中所涉及的学科不断增多, 包括有古生物学、地层学、岩石矿物学、岩相古地理、生态学、生物分类学, 以及有关中生代绝灭事件引出的恐龙生态学等。随着分子生物学技术的发展, 遗传学与古生物学联系在一起, 成为分子古生物学的一门分支学科。在 1994 年以来的一段时间里, 中国地质博物馆曾与中国科学院植物所等单位联合进行过 DNA 方面的有关尝试, 力求深层次地探讨生物演化过程; 另外在地层古生物研究中, 特别注重了蛋化石的演化序列与沉积盆地间的联系, 其目的是要从宏观上全面解释地层学和古生物学两方面问题, 为区域构造运动的发展提供重要依据; 通过恐龙蛋化石研究, 也涉及到古鸟类、白垩纪鳄类以及龟鳖类等多种生物的蛋化石内容; 2004 年汪筱林等在辽西首次发现带有蛋壳的翼龙胚胎化石, 这是一项重要而又有兴趣的成果, 它提示我们要加强这方面的研究, 将胚胎蛋化石与具体生物联系起来, 全面了解生物的面貌; 最近还报道了广东南雄、三水、新疆准噶尔一带产出的羽片蛋属, 一种新的种类(*Pinnatoolithus* Fang 2009), 由此揭示出恐龙在演化到鸟的阶段中出现的过渡类型, 填补了由恐龙蛋进化到鸟蛋过程中的一项空白。特别是 2006 年西峡恐龙蛋化石博物馆建成开放, 标志着我国在蛋化石研究领域中的阶段性进展, 具有里程碑式的象征, 成为科研、科普方面规模化的平台, 引起国内、外的瞩目和高度评价。

2 蛋化石分类

对生物进行分类就是根据不同物种间的变化, 将其所具有的相似性或相异性特征分辨出来, 归并类别, 相互区分。因此生物分类学是一门处理生物多样性的学科, 以阐明生物间的亲缘关系、进化过程和发展规律, 便于提高对知识的交流和认识。对于古生物学, 一个好的分类系统应具备对物种鉴定

的实用性, 而且要符合或更接近生物亲缘关系。目前所涉及的蛋化石主要归属四大类动物, 包括恐龙类、鸟类、龟鳖类、鳄鱼类。龟鳖类的蛋壳是由有机核及文石结晶带组成, 后者成为龟鳖类蛋壳的明显特征; 鳄鱼类蛋壳是由众多的结晶体组合而成; 恐龙蛋与鸟类蛋壳结构基本相似, 以板状结晶体为主(及羽状结晶体)组成, 结构单元以锥体为特征, 分为: 球结、乳突、棱柱及气孔。恐龙蛋与鸟类蛋区别在于后者蛋壳棱柱层产生了变异, 改变了恐龙蛋的层状结构, 出现了放射状的羽状结构和披针结构。

蛋化石分类的内容主要涉及到恐龙蛋, 1979 年前我国曾经先后出现过如下几个科: 圆形蛋科 Spheroolithidae, 长形蛋科 Elongatoolithidae, 丛状蛋科 Phacoolithidae, 蜂窝蛋科 Faveoolithidae, 树枝蛋科 Dendroolithidae, 网格蛋科 Dictyoolithidae, 大圆蛋科 Megaloolithidae Zhao, 1979 (我国未见), 椭圆蛋科 Ovaloolithidae, 棱柱形蛋科 Prismatoolithidae。其后的数十年来对蛋化石的认识逐渐深入, 对蛋化石分类也在不断进行修订, 不断规范化, 力求简捷、更接近于生物自然演化规律。本文在原有分类基础上, 根据分类过程中公认的标准、生物分类方式、命名原则等要求, 通过蛋化石形态、蛋壳结构以及蛋化石研究的未来趋势, 归纳并补充了新内容。笔者结合鉴定中的有效标准, 仅对‘科’一级单位作了厘定, 其中包容了大部分‘属’级单位(个别属还应取消), 以此提出如下分类意见。

根据蛋形态:

- 长形蛋科 Elongatoolithidae hao, 1975
 - 长形蛋属 *Elongatoolithus* Zhao, 1975
 - 巨型长形蛋属 *Macroelongatoolithus* Li et al., 1995
 - 巨型蛋属 *Macroolithus* Zhao, 1975
 - 棱柱形蛋属 *Prismatoolithus* Zhao & Li, 1993
 - 黑山蛋属 *Heishanoolithus* Zhao & Zhao 1999
- 圆形蛋科 Spheroolithidae Zhao, 1979
 - 圆形蛋属 *Spheroolithus* Zhao, 1979
 - 扁圆蛋属 *Placoolithus* Zhao, 1979
 - 副圆形蛋属 *Paraspheroolithus* Zhao, 1979
 - 椭圆形蛋属 *Ovaloolithus* Zhao, 1979

据蛋壳结构:

- 蜂窝蛋科 Faveoolithidae Zhao & Ding, 1976
 - 蜂窝蛋属 *Faveoolithus* Zhao & Ding, 1976
 - 杨氏蛋属 *Youngoolithus* Zhao, 1979
 - 网格蛋属 *Dictyoolithus* Zhao, 1993
- 丛状蛋科 Phacoolithidae Zheng & Zhang, 1979

丛状蛋属 *Phacoolithus* Zheng & Zhang, 1979

树枝蛋属 *Dendroolithus* Zhao & Li 1988

似树枝蛋属 *Paradendroolithus* Zhou et al., 1998

羽状蛋科 *Pinnatoolithidae* Fang, 2009

羽片蛋属 *Pinnatoolithus* Fang, 2009

披针蛋属 *Lanceoolithus* Fang, 2009

根据与生物对应的蛋化石:

恐龙化石蛋科 *Dinosauroolithidae* Fang, 2007

窃蛋龙胚胎蛋属(*Oviraptoroolithus*)Fang, gen. nov. (见图 1-h)

说明: ‘胚胎蛋化石’包含了蛋壳及壳内生物幼体二部分, 建议对此类化石命名, 用幼体生物的属名+蛋化石的词尾作为化石胚胎蛋的属名。如在蒙古发现一窝原角龙胚胎的蛋化石, 它是由蛋壳化石与原角龙二部分组成。命名方式可将‘原角龙属 *Protoceratops*’+ 蛋化石词尾‘*oolithus*’, 组成‘*Protoceratops-oolithus*’, 名为‘原角龙胚胎蛋属 *Protoceratopsoolithus*’。其含义即包括了恐龙生物体, 也包括了蛋壳化石。图 1-h 是中国地质博物馆典藏的恐龙蛋胚胎化石(馆藏号: V2212), 产于广东南雄一带, 于 2006 年底收集, 2007 年在追缴流失美国的‘胚胎蛋’的会议上曾向与会专家展示过标本图像, 此前国土资源部小苏副部长等来馆观看过该标本。其后与中国科学院古脊椎研究所徐星等进行共同研究, 并初步辨认胚胎中的幼体为窃蛋龙类(*Oviraptorosauria*)。按上述分类意见, 对具有窃蛋龙胚胎的蛋化石命名为‘窃蛋龙胚胎蛋属(*Oviraptoroolithus*)’。它是由窃蛋龙(*Oviraptor*)的幼体和瑶屯巨型蛋(*Macroolithus yaotunensis*)的蛋壳两部分组成。上述命名建议仅为完善笔者提出对蛋化石分类的一个思路。

龟鳖化石蛋科 *Testudoolithidae* Fang et al., 2003

天台蛋属 *Tiantaioolithus* Fang, 2003

豫西南蛋属 *Yuxinanoolithus* Fang gen. nov.(产于西峡地区, 见图 1a-i 连续切片样品, 待描述)

鳄类化石蛋科 *Crocudiloolithidae* Fang, 2007

内乡鳄鱼蛋属 *Neixiangoolithus* Fang, 2007

鸟类化石蛋科 *Ornithoolithidae* Fang, 2007

原始鸟蛋属 *Protornithoolithus* Fang, 2007

3 蛋化石类型介绍

爬行动物蛋壳的主要化学成分是碳酸钙, 根据蛋壳中的结构及微量元素的变化, 了解到生物的发展时常会受到环境的影响与制约, 它带给古生物学者大量不同地质阶段变化的信息。十五年来在对恐龙蛋化石研究的同时, 也涉及到鳄类、龟鳖类等蛋化石与相关现生动物的联系。特别是通过与现代生物的比较, 发现恐龙与鸟类在蛋壳结构上的相互关系, 及其蛋壳结构上的演变过程。在此, 对最新报道的蛋化石属种, 以及具有代表意义、具有特色的恐龙蛋类型进行简单的介绍。

长形蛋科 *Elongatoolithidae* Zhao, 1975

巨型长形蛋 *Macroelongatoolithus* Li et al., 1995

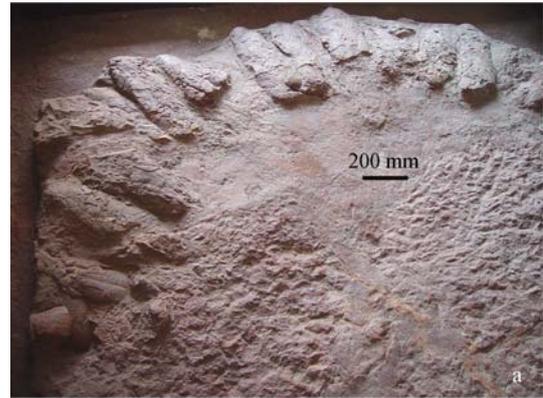


图 2 巨型长形蛋的 2 个种

Fig. 2 Two species of Genus *Macroelongatoolithus*
a-产于河南西峡的西峡巨型长形蛋, b-产于浙江天台的张氏巨型长形蛋(蒋严根提供)

a-*Macroelongatoolithus xixiaensis* from Xixia, Henan;
b-*Macroelongatoolithus zhangi* from Tiantai, Zhejiang (photos from Jiang Yan-gen)

巨型恐龙蛋分布稀少, 它的超长体征成为我国具有代表性的一类蛋化石。该化石长形, 一端圆钝, 一端略尖; 壳表纵向分布长疣状纹饰, 在细端纹饰尤其密集, 粗端处疣分布稀疏或拉长呈蠕虫状。归入该属的西峡巨型长形蛋 *Macroelongatoolithus xixiaensis* Li et al., 1995 是西峡地区标志性的恐龙蛋化石, 蛋的个体长在 40~60 cm 之间, 是目前国内、外见到最长、最大的蛋化石(图 2a)。除河南西峡外, 浙江天台盆地也发现了这类巨型长形蛋, 但长度比西峡种略小, 一般为 30~40 cm 之间; 为纪念北京大学已故古生物学家张昫教授, 将天台产出的这种化石命名为张氏巨型长形蛋 *Macroelongatoolithus zhangi* Fang et al., 2000(图 2b)。巨型长形蛋这类恐龙蛋的地层分布主要在早白垩世晚期的桑坪组-晚白垩世走马岗组、赵营组下部及浙江天台赤城山组。

羽状蛋科 *Pinnatoolithidae* Fang, 2009

羽片蛋属 *Pinnatoolithus* Fang, 2009

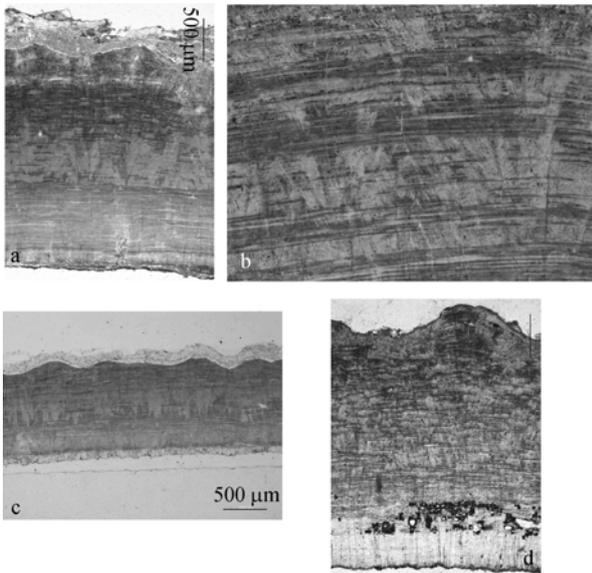


图 3 羽片蛋属的 3 个种

Fig. 3 Three species of Genus *Pinnatoolithus*
a-b 石塘羽片蛋(*Pinnatoolithus shitangensis*), c-南雄羽片蛋
(*Pinnatoolithus nanxiongensis*),
d-三个泉羽片蛋(*Pinnatoolithus sangequanensis*)

蛋圆形, 壳厚; 蛋壳棱柱层出现羽状结构。现已命名 3 个种: 石塘羽片蛋 *Pinnatoolithus shitangensis* Fang, 2009、南雄羽片蛋 *Pinnatoolithus nanxiongensis* Fang, 2009、三个泉羽片蛋 *Pinnatoolithus sangequanensis* Fang, 2009(图 3), 分别产于广东南雄盆地、三水盆地、新疆准噶尔盆地三个泉一带, 时代为晚白垩世南雄群、三水组、大壟山组、乌伦古河组。以往所描述的恐龙蛋壳具有水平状结构, 被称为层状棱柱层。而新属蛋壳的棱柱层在层状结构基础上, 又出现了羽状结构。这一特征上的变化表明, 蛋壳在局部构造方面出现了遗传突变, 蛋壳的棱柱层由斜向分布的羽状层和水平状层组成。羽状层自乳突层顶部出现, 并向蛋壳表面延展; 在蛋壳纵切面上羽状层呈“束”状, 斜向排列很像羽枝, 并且相邻羽片之间相互重叠交叉。这一特征显著区别于水平状层或波状层结构。通过与现生生物蛋壳结构对比发现, 具有羽状结构的恐龙蛋已经在向着鸟蛋过渡。

羽状蛋科 *Pinnatoolithidae* Fang, 2009

披针蛋属 *Lanceoololithus* Fang, 2009

披针蛋 *Lanceoololithus* 与羽片蛋 *Pinnatoolithus* 相似, 只是在演化中出现了不同形式的变异, 属于另一类恐龙蛋进化记录。披针蛋圆形, 蛋壳厚, 蛋壳棱柱层出现了垂直分布的披针状结构; 现已将产于

广东南雄盆地、三水盆地一带的这类化石命名为: 下坪披针蛋 *Lanceoololithus xiapingensis* Fang, 2009(图 4)和黄塘披针蛋 *Lanceoololithus huangtangensis* Fang, 2009; 在新疆三个泉也有发现, 命名为准噶尔披针蛋(新种)*Lanceoololithus junggarensis* Fang sp. nov.; 上述披针蛋的时代均为晚白垩世。披针蛋属在蛋壳中出现的直立的、披针状的变化特征, 与羽状结构关系密切。

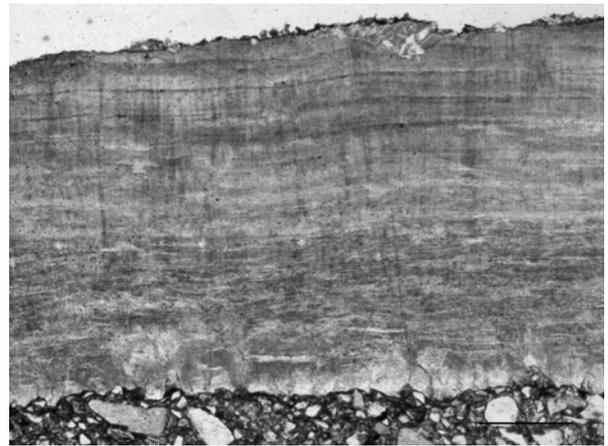


图 4 披针蛋(下坪披针蛋)

Fig. 4 *Lanceoololithus xiapingensis*

准噶尔披针蛋(新种) *Lanceoololithus junggarensis* Fang sp. nov.

薄片号: 0709HJ-n1-a

种名词源: 自新种产地三个泉所处的准噶尔盆地。

正模: 图 5, 标本保存在中国地质博物馆。

特征描述 壳表面粗糙不平整, 壳厚 2.6mm; 壳的纵切面可见水平层理; 蛋壳由乳突层及棱柱层组成, 二者界线清晰, 略有起伏; 界线之下乳突层约占壳厚的 1/3, 乳突长, 排列紧密, 乳突宽圆, 具球节及放射线; 自乳突层靠近球节放射线处, 向上垂直分布着披针物, 呈“麦芒”状, 披针细长, 相互排列密集, 几乎没有形成交叉, 披针清晰向上越过棱柱层, 在蛋壳上部形成水平排列的“芒尖带”, 与壳顶的致密层相互间层次明了; 除顶部致密层外, 棱柱层具有水平层理。

比较: *L. huangtangensis* 以壳薄 0.8 mm 为特征, 与新种 *L. junggarensis* 及 *L. xiapingensis* 二者相区别; 而新种 *L. junggarensis* 壳厚, 壳表面粗糙, 乳突层为蛋壳厚度的 1/3, 与 *L. xiapingensis* 可以区别。

产地及层位: 新疆三个泉乌伦古河组(K₂)

(注: 样品于 2007 年中国地质博物馆-美国芝加哥大学合作对新疆北部白垩系考察期间采集, 野外工作人员有方晓思、赵喜进、Paul C. Sereno、David J. Varricchio、李永安、克尤木·尼牙孜及林泽升。)

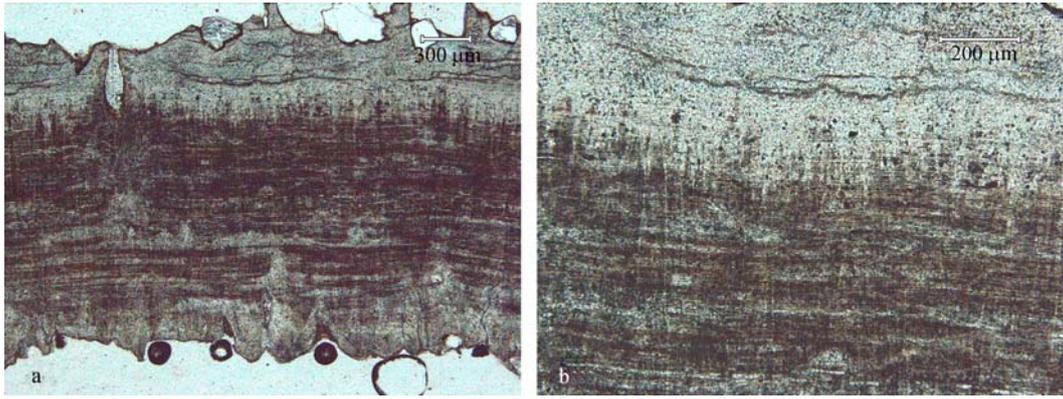


图 5 准噶尔披针蛋蛋壳结构
Fig. 5 Egg shell structure of *Lanceoolithus junggarensis*

龟鳖化石蛋科 Testudoolithidae Fang et al., 2003
天台蛋 *Tiantaioolithus* Fang et al., 2003

龟鳖化石蛋体小，圆形(图 6)。与恐龙蛋不同，蛋壳微细结构最小单元是一丛状体，每个丛状体由球节及呈放射状的结晶簇组成。丛状体为放射状矿物，成分为文石(aragonite)或称霰石。蒋氏天台蛋 *Tiantaioolithus jiangi* Fang et al., 2003，是以蒋严根先生(Mr.Jiang Yan-gen)命名。化石个体扁圆，大小为 4.5 cm×4.3 cm×2.3 cm；壳厚 0.5 mm；蛋壳纵切面

观丛状体排列紧密，单个丛状体宽度 0.45 mm，丛状体之间可形成小的间隙。化石产于浙江天台盆地双塘，地层为晚白垩世赤城山组。

另外如图 1b 所示，是一枚龟鳖类胚胎化石的连续切片，产于河南西峡。

鳄类化石蛋科 Crocodiloolithidae Fang, 2007
内乡鳄鱼蛋 *Neixiangoolithus* Fang, 2007

鳄类蛋化石在我国西峡地区首次报道，河南淅川盆地也曾发现。该属中的闫氏内乡鳄鱼蛋 *Neixiangoolithus yani* Fang, 2007 是以闫荣浩先生(Mr. Yan Rong-hao)命名，是对他在西峡蛋化石博物馆建设中所做贡献表示崇敬。鳄类蛋化石一窝几十枚杂乱堆置在一起，蛋个体圆形，5.5 cm×5 cm，个别为 4 cm。蛋壳表面平滑，壳厚 2.3 mm；蛋壳纵切面观，鳄类化石的蛋壳由方解石结晶体组成，棱柱体由结晶体镶嵌在一起，形成上下二层结晶带，常见壳中部一条明显界线；棱柱体底部见有球节和放射纹(图 7)。现代鳄类主要生活在山麓的溪水中、季节性河流地带或山区低谷的湖泊、水塘、沼泽等湿地，它不能长期远离水源。鳄鱼的生活习性与水体联系紧密，常出现在山脚下低平的河流积水地带，在岸边挖洞筑巢产卵。

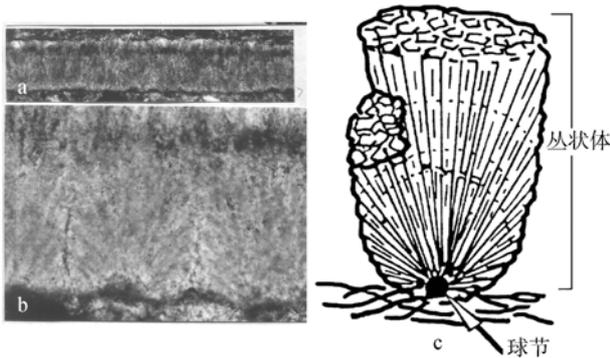


图 6 龟鳖类蛋化石
Fig. 6 Testudoid egg fossil
a~b-天台蛋(蛋壳厚 0.5 mm), c-龟鳖蛋壳示意图
a~b-*Tiantaioolithus* Fang (eggshell 0.5 mm thick),
c-Sketch of egg shell of testudoid



图 7 a~b-闫氏内乡鳄鱼蛋(蛋壳厚 2.3 mm), 7c-鳄类蛋壳示意图
Fig. 7 a~b- *Neixiangoolithus yani* Fang (egg shell 2.3 mm thick), c- Sketch of egg shell of Crocodiloid

因此鳄鱼蛋化石可以作为环境的标志, 具有很强的指相性。而恐龙蛋则出现在河流的上游, 受季节性水流控制。根据产地分析, 夏馆—七里坪一带应该是鳄类、恐龙生活的栖息环境。产出地层为早白垩世桑坪组(K₁)。

鸟蛋化石科 Ornithoolithidae Fang, 2007

原始鸟蛋属 Protornithoolithus Fang, 2007

土门东原始鸟蛋 *Protornithoolithus tumendongensis* Fang, 2007

蛋小, 长形, 全长 4 cm; 蛋壳薄, 厚 0.15 mm, 蛋壳由棱柱体密集排列组成; 气孔道丰富, 乳突具球节及放射性; 壳中部由一直的暗色条带穿过。该种蛋壳极薄, 与现代禽蛋比较, 其厚度小于鸡蛋壳,



图 8 原始鸟蛋(蛋壳厚 0.15 mm, 蛋化石长 4 cm)
Fig. 8 *Protornithoolithus* (egg shell 0.15 mm thick, egg length 4 cm)

是由短小的棱柱体紧密排列在一起; 土门东原始鸟蛋化石具有 2 条等宽、横向分布的黑褐色染色带, 其位置出现在蛋壳的中—下部, 宽度不大, 平行分布。具有‘染色带’也是鸟蛋化石的重要特征, 与鸡蛋壳相比, 原始鸟蛋化石的条带颜色、宽度以及所处位置不同。鸡蛋壳的条带为黑褐色, 一宽一窄 2 条, 之间的宽度之比为 1:3。原始鸟蛋化石蛋壳的基本结构与恐龙蛋大体相同, 这些特征反映了它们之间在演化关系上有联系。产地及层位为西峡阳城土门东东北 500 m 处, 赵营组(K₂)。

4 我国几个重点盆地地层及蛋化石序列

4.1 河南西峡盆地

西峡县(东经 110° 00'~112° 00', 北纬 33° 00'~33° 48')地处丹江上游, 北坐伏牛山, 东伴桐柏山, 西依秦岭—武当山, 南邻大洪山—荆山; 地势西北高, 东南低, 形成四面环山, 中部平坦的盆地环境。按地质构造划分, 西峡所在南阳盆地, 处于秦岭褶皱带、华北地台、扬子地台三大地质构造单元之间的沉积凹陷内, 为秦岭大背斜的南翼, 属秦岭地轴次一级褶皱带。受构造运动影响, 中生代末期在伏牛山南麓发育了一系列北西—南东向断裂带。由构造断裂形成的盆地, 大体与伏牛山走向平行, 自北向南雁行式排列, 分别座落在河南西峡—内乡、淅川、湖北郧县。几个盆地由北至南地势逐渐平缓, 并有河流相互连通, 在河流的上游常成为恐龙产卵的地方; 另外盆地西高东低, 西部多为山地、丘陵, 东部平缓, 多为水体丰富、植物繁盛的湿地, 成为恐龙等生物生息之处。

在豫西南—鄂西北的 4 个盆地中, 西峡境内分布着二个: 桑坪—夏馆盆地(北)和西坪—赤眉盆地(南) (图 10)。特别是西坪—赤眉盆地蛋化石地层面积约 1000 多 km², 蛋化石数量之大著称于世, 目前已确定蛋化石产出层位有 17 层, 被誉为“白垩系最

表 1 西峡地区白垩纪盆地地层修改

Table 1 A new modified division and correlation of Cretaceous strata in Xixia basin, Henan

	方晓思等, 2007						本 文					
	桑坪-夏馆盆地			西坪-赤眉盆地			桑坪-夏馆盆地			西坪-赤眉盆地		
K ₂	六爷庙组						六爷庙组					
三湾组			走马岗组			走马岗组			走马岗组			
K ₁ ²	桑坪组					走马岗组			走马岗组			桑坪组
	黄沙组			黄沙组					黄沙组			

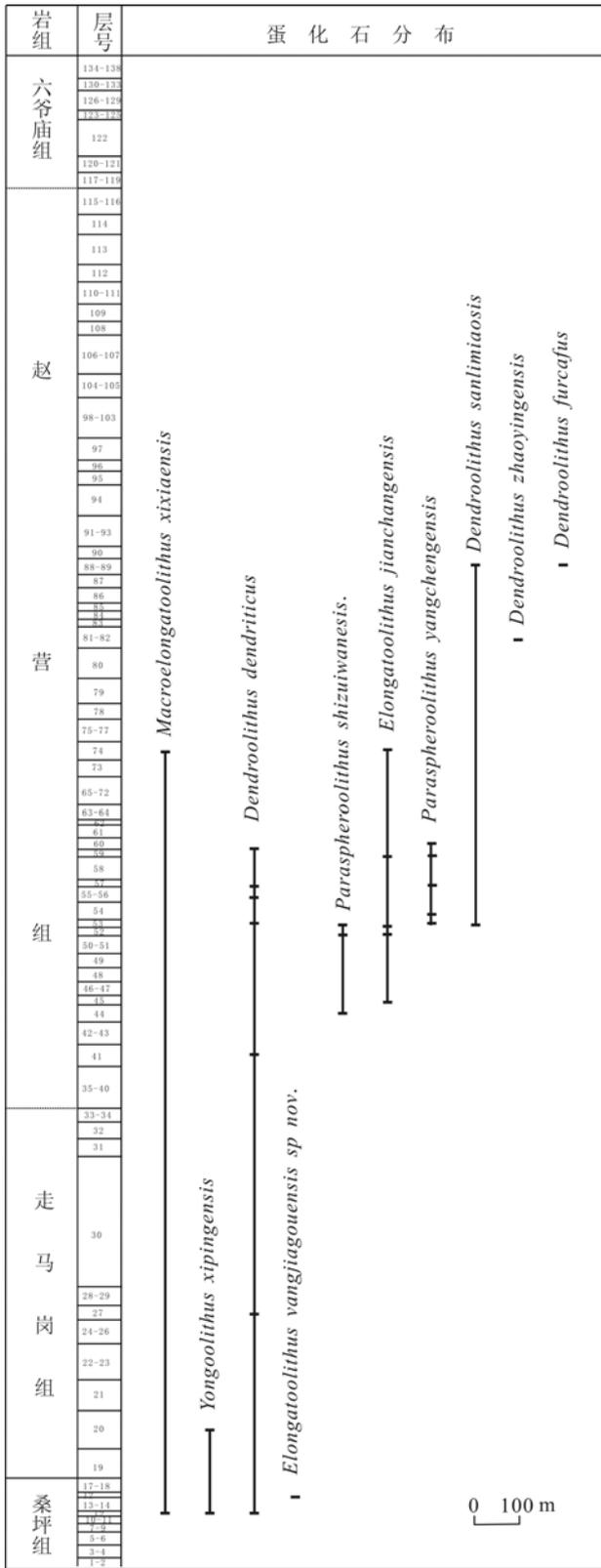


图 9 西坪—赤眉盆地蛋化石分布图
 Fig. 9 Distribution of egg fossils in Xiping-Chimei basin, Xixia

发育，地层沉积最为连续，沉积记录最典型，生物地层层出露最完好，蛋化石埋藏规模最大，蛋化石种类最丰富，化石原始状态保持最完好，各层位的蛋

化石分布最密集”(图 9)。目前又有禽龙、鸭嘴形恐龙、霸王龙、原角龙、龟鳖类等化石发现；在内乡夏馆—七里坪一带出现的鳄类蛋化石，是一类重要的指相化石，它指示出这里地势低平，水体丰富，属湖泊、沼泽湿地环境，对恐龙动物来说是一处很好的生活区域。

在岩石地层划分基础上(方晓思等, 2007), 本文又将西峡县境内两盆地的岩石地层作出新的修订。将走马岗组的‘走马岗组上段’厘定为新的‘走马岗组’, 为实测剖面(2007)第 19-34 层。新的‘走马岗组’去除了‘走马岗组下段’, 即下部砂-泥岩的沉积部分, 突出以砾岩沉积的特征, 岩性为黄褐色、暗紫红色厚-巨厚层砾岩, 中部夹有灰紫色、深红色含砾砂岩、砂岩, 厚度 840.4 m。被分割的‘走马岗组下段’无论从生物地层还是岩石地层则更接近桑坪盆地的桑坪组(方晓思等 1998), 两盆地形成具有‘阶梯式构造演变’关系, 因此‘走马岗组下段’可与桑坪组对比, 名称改为桑坪组; 为实测剖面的第 1-18 层, 岩性以紫红色砂岩、泥质粉砂岩为主, 夹灰-灰紫色砂砾岩、砾岩层。桑坪-夏馆盆地的三湾组(方晓思等, 1998), 大体以一套砾岩为主, 与西坪-赤眉盆地新的‘走马岗组’相当, 因此取消‘三湾组’命名, 修订为走马岗组。

西坪—赤眉盆地蛋化石属种类型

赵营组:

- 树枝树枝蛋 *Dendroolithus dendriticus* Fang et al., 1998
- 分叉树枝蛋 *Dendroolithus furcatus* Fang et al., 1998
- 三里庙树枝蛋 *Dendroolithus sanlimiaoensis* Fang et al., 1998
- 赵营树枝蛋 *Dendroolithus zhaoyingensis* Fang et al., 1998
- 茧场长形蛋 *Elongatoolithus jianchangensis* Fang, 2007
- 赤眉长形蛋 *Elongatoolithus chimeiensis* Fang, 2007
- 石嘴湾副圆形蛋 *Paraspheroolithus shizuiwanensis* Fang et al., 1998
- 阳城副圆形蛋 *Paraspheroolithus yangchengensis* Fang et al., 1998
- 西峡巨型长形蛋 *Macroelongatoolithus xixiaensis* Li et al., 1995
- 红坡网格蛋 *Dictyoolithus hongpoensis* Zhao, 1993
- 土门东原始鸟蛋 *Protornithoolithus tumendongensis* Fang, 2007

走马岗组(原‘走马岗组上段’):

- 西峡巨型长形蛋 *Macroelongatoolithus xixiaensis* Li et al., 1995
- 西坪杨氏蛋 *Yongoolithus xipingensis* Fang et al., 1998
- 杨家沟长形蛋 *Elongatoolithus yangjiagouensis* Fang, 2007,
- 树枝树枝蛋 *Dendroolithus dendriticus* Fang et al., 1998
- 夏馆杨氏蛋 *Yongoolithus xiaguanensis* Zhao, 1979

桑坪组(原‘走马岗组下段’):

西峡巨型长形蛋 *Macroelongatoolithus xixiaensis* Li et al., 1995

西坪杨氏蛋 *Youngoolithus xipingensis* Fang et al., 1998

夏馆杨氏蛋 *Youngoolithus xiaguanensis* Zhao, 1979

杨家沟长形蛋 *Elongatoolithus yangjiagouensis* Fang, 2007

树枝树枝蛋 *Dendroolithus dendriticus* Fang et al., 1998

桑坪-夏馆盆地蛋化石属种类型

桑坪组:

桑坪椭圆形蛋 *Ovaloolithu sangpingensis* Fang et al., 1998

石嘴湾副圆形蛋 *Paraspheroolithus shizuiwanensis* Fang et al., 1998

夏馆杨氏蛋 *Youngoolithus xiaguanensis* Zhao, 1979

闫氏内乡鳄鱼蛋 *Neixiangoolithus yani* Fang 2007

4.2 豫西南-鄂西北白垩纪盆地

秦岭东端由崤山、熊耳山、伏牛山几条支脉组成, 呈扇状展开。其中伏牛山为最南面的一支, 山体

北西-南东走向。中生代末期在秦岭大背斜南翼即伏牛山一带, 发育了一系列北西-南东向构造凹陷, 沉积了白垩纪地层。分布区域由北向南依次为: 桑坪-夏馆盆地、西坪-赤眉盆地、淅川滔河盆地、郟县-郟西盆地(图 10)。由于构造运动自北向南有一个逐渐推进过程, 各断陷盆地形成的时间也不具等时性, 盆地基底不处在同一时间界面上, 时代由北向南呈阶梯状逐渐变新。越靠近北部, 盆地接受沉积越早、地层时代相对要老; 而南部盆地沉积时间相对迟缓、时代要新, 因此盆地间的地层出现了阶梯状的超覆现象。

伏牛山地区发源于淇河、老灌河、湍河 3 条河流, 向南流入丹江。几条河流将盆地串连起来, 特别是老灌河贯穿了桑坪盆地、西坪-赤眉盆地、淅川滔河盆地、郟县-郟西盆地, 使几个盆地之间保持着地域间的联系。恐龙等生物通过水流在盆地之间

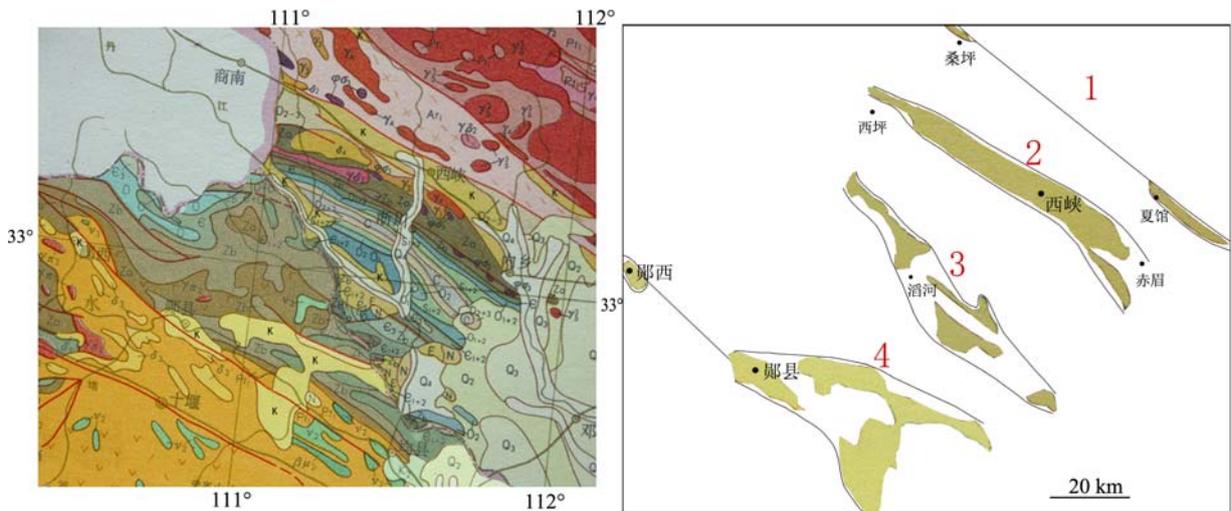


图 10 豫西南-鄂西北地区白垩纪盆地分布图

Fig. 10 Distribution of cretaceous basins in Southwestern Henan-Northwestern Hubei

(a) 地质图; (b) 盆地分布示意图 (1 桑坪-夏馆盆地; 2 西坪-赤眉盆地; 3 滔河盆地; 4 郟县-郟西盆地)

(a)-Geological map; (b)-Sketch map of distribution of basins(1-Sangping-Xiaguan basin; 2-Xiping-Chimei basin; 3-Taohe basin; 4-Yunxian-Yunxi basin)

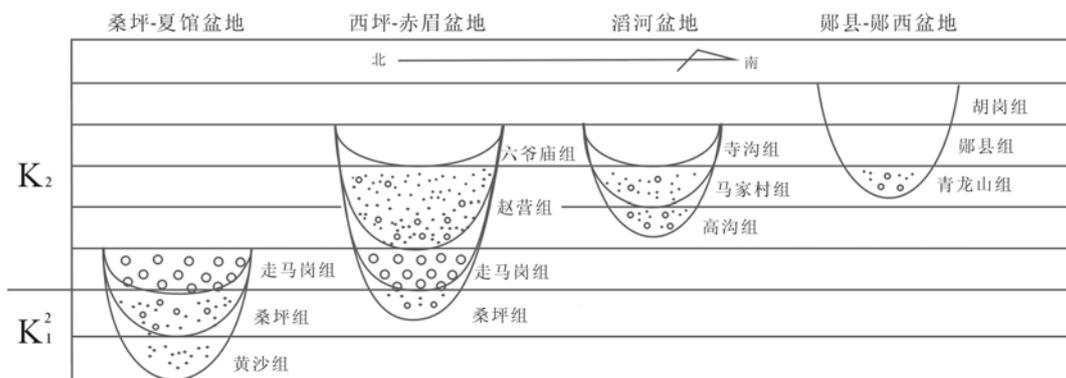


图 11 豫西南-鄂西北地区构造盆地形成示意图

Fig. 11 Sketch map of basin formation in southwestern Henan-northwestern Hubei

4.3 浙江天台盆地

天台县位于浙江省中东部的浙东丘陵地带，北与新昌县接壤，东邻宁海县、三门县，南靠仙居县、临海市，西与盘安县相邻。天台盆地呈‘人’字形分布，时代白垩纪。自 20 世纪 50 年代发现恐龙以来，此后陆续在盆地中部和西南部找到大量恐龙蛋化石。笔者之一方晓思自 1998 年受浙江省地矿厅邀请对天台蛋化石产地考察以来，之后又分别于 1999 年、2002 年 4 月及 2002 年 7 月对天台地区上白垩统进行了深入工作，测制了金村剖面；重点解决了“两头塘组”、“赤城山组”存在的问题，并重新赋予‘赖家组’和‘赤城山组’新的涵义；修订了天台群的分布；综合研究了不同时期收集的蛋化石样品。到目前为止，笔者在赖家组、赤城山组发现并描述的蛋化石 7 属 12 种，其中包括有巨型长形蛋 (*Macroelongatoolithus*)、晚白垩世龟鳖类的天台蛋 (*Tiantaioolithus*) 等化石。天台盆地大量蛋化石主要分布在赤城山组，成为中国又一处蛋化石集中产地。天台产出的蛋化石多属原地埋藏，同豫西南、鄂西北等地相似。但天台盆地许多蛋化石未经孵化，这一情况与上述地区又有所不同。通过对生物繁衍孵化程度的观察，在一个相同地史阶段，天台地区恐龙蛋绝灭迹象似乎比豫西南一带更直接一些。根据近年赖家组产出的“天台龙”，该龙被鉴别属肉食类恐龙。从恐龙骨骼愈合以及趾式的排列程度分析，赵喜进认为在化石个体发育中带有的一些原始特征。因此，笔者不排除将产出“天台龙”的地层时代划归早白垩世晚期的可能性。

这样，赖家组与西峡的桑坪组时代大体是相当的，能够进行比较。另外赤城山组的蛋化石组合以产出树枝蛋类和巨型长形蛋为特征，这些标志性化石以及化石序列所反映出的时代特征，可与河南西峡走马岗组、赵营组对比。

表 3 浙江天台盆地白垩系沿革表
Table 3 History of cretaceous strata division in Tiantai basin, Zhejiang

地层时代	浙江省区调大队 1978	浙江省地矿局 1994	方晓思等 2003
K 天台群	赖家组 (广义)	b	赤城山组
		a	两头塘组
			塘上组

天台盆地蛋化石序列

- 树枝树枝蛋 *Dendrooolithus* cf. *dendriticus* Fang et al. 1998
- 国清寺树枝蛋 *Dendrooolithus guoqingensis* Fang et al. 2000
- 双塘树枝蛋 *Dendrooolithus shuangtangensis* Fang, 2003
- 赤城山长形蛋 *Elongatoolithus chichengshanensis* Fang, 2003
- 赖家长形蛋 *Elongatoolithus laijiaensis* Fang, 2003
- 天台长形蛋 *Elongatoolithus tiantaiensis* Fang et al. 2000
- 张氏巨型长形蛋 *Macroelongatoolithus zhangii* Fang et al. 2000
- 椭圆形蛋(未定种) *Ovaloolithus* sp.
- 石嘴湾副圆形蛋 *Paraspheroolithus* cf. *shizuiwanensis* Fang et al., 2003
- 金村圆形蛋 *Spheroolithus jincunensis* Fang, 2003
- 张头槽圆形蛋 *Spheroolithus zhangtoucaoensis* Fang et al. 2000
- 蒋氏天台蛋 *Tiantaioolithus jiangii* Fang, 2003

表 4 浙江天台盆地蛋化石分布表
Table 4 Distribution of fossil eggs in Tiantai basin, Zhejiang

赤城山组	<i>Elongatoolithus</i>	<i>Spheroolithus</i>	<i>Macroelongatoolithus</i>	<i>Dendrooolithus</i>	<i>Tiantaioolithus</i>	<i>Paraspheroolithus</i>	<i>Ovaloolithus</i>
赖家组							

4.4 广东河源盆地

河源盆地位于广东省中东部，面积约 725 km²，盆地展布方向与东江水系及构造带大体平行，呈北东—南西向。盆地地层为单斜构造，倾向北西，沉积物多以砾石类粗碎屑为主，时代为中生代白垩纪—新生代古近纪。根据岩性特征及化石分布，方晓思等(2004 年)将这套地层划分为 3 个岩石地层单位，新建仙塘组和东源组，沿用格岭组。在河源除发现恐龙骨骼、恐龙脚印、龟鳖化石外，东源组还产有大量蛋化石。河源地区蛋化石的分布特点为，下部以圆形蛋为主，中—上部则多见长形蛋。

广东河源盆地白垩系剖面，从观塘石场—到吉—东源县城—牛牯寨—曹军洞，全长约 8 km，红层出露良好，倾向北西，倾角 28°~34°，岩层厚 3680 m，自南向北依次出露仙塘组、东源组和格岭组(图 12)。

河源盆地蛋化石序列

东源组(图 13):

三王坝村副圆形蛋 *Paraspheroolithus sanwangbacunensis*
Fang, 2005

风光村树枝蛋 *Dendroolithus fengguangcunensis* Fang, 2005
长形蛋种类有瑶屯巨型蛋 *Macroolithus yaotunensis* Zhao, 1975
长形长形蛋 *Elongatoolithus elongates* Zhao, 1975
龟鳖类蛋化石(另见报道)

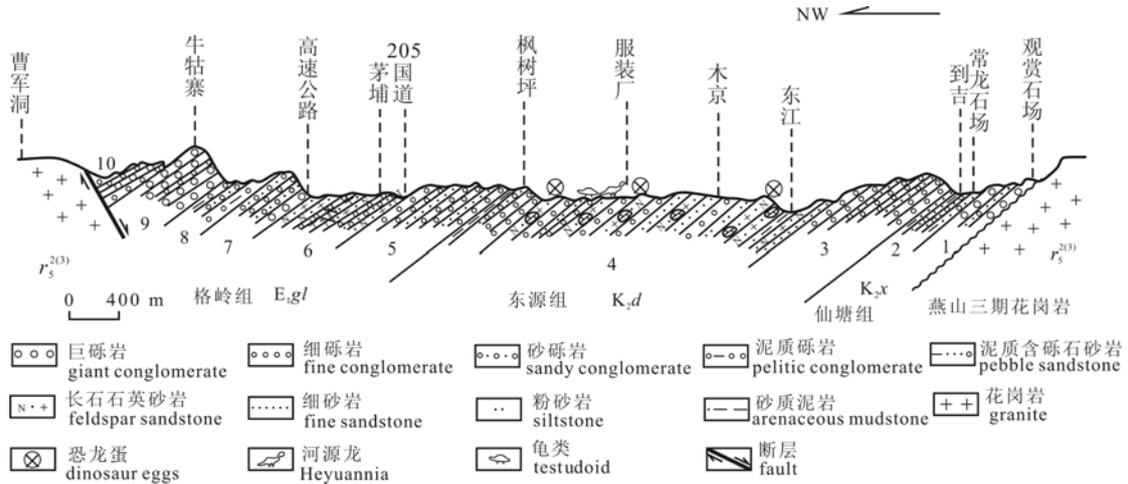


图 12 广东东源县到吉-牛牯寨上白垩统-古近系剖面图(据张显球等 1993, 略有修改)

Fig. 12 The Daoji-Niuguzai Cretaceous-Tertiary section in Dongyuan, Guangdong (modified from Zhang Xian-qiu et al. 1993)

上覆地面 燕山第三期中粗粒斑状黑云母花岗岩

—————断层接触—————

格岭组(E_{1g1})

- 10. 紫红, 褐红色含中粗砾之花岗岩屑细砾岩, 夹厚层块状粗砾岩
- 9. 砖红、紫红色块状巨砾岩夹细砾岩, 巨砾岩砾径可达 1 cm 以上, 铁质、泥质胶结, 坚硬, 形成悬崖绝壁的丹霞地貌 250 m
- 8. 红褐色含泥质细砾岩夹砂砾岩, 地表风化为棕红色红土和灰白色石英砂, 地势较低平 300 m
- 7. 暗褐色砾岩、砂砾岩, 砾径大小不一, 少数可达 10—20 cm, 胶结坚硬, 形成陡崖绝壁的丹霞地貌 200 m
- 6. 暗褐、红褐色含细砾泥质长石石英砂岩, 夹紫灰色泥质细砾岩薄层或透镜体, 结构松散, 易风化 180 m
- 5. 黄白、灰白、紫红色厚层至块状细砾岩, 砾石多为绿豆至黄豆大小, 砾径少数大于 5 cm. 细砂岩, 地表风化物多为白色石英砂, 多呈缓坡丘陵地貌 400 m

整合

东源组(K_{2d}) 300 m

- 4. 砖红、紫红色厚层—块状细砾岩与含细砾中粗粒长石石英砂岩互层, 夹粉—细砂岩, 富含钙质结核, 具显著的灰绿色条带、斑点、斑块, 砂岩层理较发育, 地势较平坦, 多为低矮丘陵或平原地貌, 产黄氏河源龙 *Heyuannia huangi* LU, 恐龙蛋 *Elongatoolithus elongatus*, *Macroolithus yaotunensis* 及龟化石, 顶部出现约 1 m 厚灰绿色砂质泥岩
- 3. 紫红色厚层—块状含中粗砾之花岗岩屑细砾岩, 夹含砾粗砂岩, 砾石成分花岗岩屑占 70%~80%, 富含灰绿色斑点、斑条、斑块, 常构成单斜, 具丹霞地貌特征, 此层在风光村、三王霸, 河源东江大桥东侧, 麻竹窝, 陈田、木京电站一带富产恐龙圆形蛋化石 *Dendroolithus fengguangcunensis*, *Paraspheroolithus sanyangbacunensis* 1100 m

仙塘组(K_{2x})

- 2. 紫红、棕红、褐红色泥质细砂岩, 含不等粒砂砾, 夹砂砾岩透镜体地表多为低洼地带, 多被浮土或稻田所覆盖 500 m
- 1. 暗紫、紫红色块状中—粗砾岩, 夹含砾砂岩薄层或透镜体

—————断层—————

下伏地层 燕山第三期黑云母二长花岗岩

200 m
250 m

(注: 剖面原第 5 层被分为 2 部分, 修订后的新 5 层厚 300 m, 其余 200 m 归入 4 层)

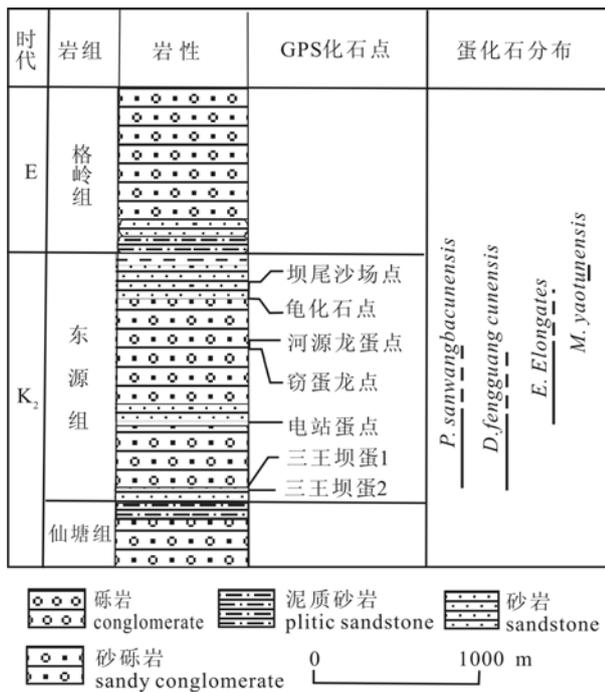


图 13 广东河源盆地化石分布图

Fig. 13 Distribution of fossil eggs in Heyuan basin, Guangdong

4.5 南雄盆地及相邻丹霞盆地白垩系对比

4.5.1 南雄盆

南雄盆地位于广东北部，是一个受断裂带控制的断陷盆地，呈北东—南西向分布，横跨粤赣两省，面积约 1800 km²。南雄盆地内的白垩系—古近系是一套沉积连续的陆相红色岩层，自下而上地层为：长坝组、南雄群(园圃组、主田组、浈水组)、罗佛寨群(上湖组、浓山组、古城村组)。地层出露大量蛋化石、爬行动物和哺乳动物骨骼，以及介形虫、叶肢介、半咸水有孔虫等化石，丰富的生物地层资料为中、新生代及界线研究提供了绝好的条件。长期以来南雄白垩系缺少一条完整描述盆地的白垩纪沉积剖面，特别是出露于南雄群之下的一套早白垩世地层。由于这套地层长期被忽略，以至于影响到与丹霞盆地的对比。2008 年在地质考察中，测制了一条完整的白垩系剖面，将南雄盆地东南部边缘的长坝组地层补充进去；同时详细收集了介形虫样品以及古地磁材料；沿实测剖面由下而上统计出蛋化石产出层位共 66 层；结合广东三水盆地、新疆准噶尔盆地蛋化石类型建立了 1 个新科、2 个新属、6 个新种，丰富了南雄蛋化石的演化序列；还从生物学角度探索到从恐龙蛋到鸟蛋的演化过程，以及蛋壳厚度出现的变异现象(方晓思等, 2009)。

南雄盆地蛋化石序列(图 14)

浈水组:

安氏长形蛋 *Elongatoolithus andrewsi* (Young) Zhao, 1975

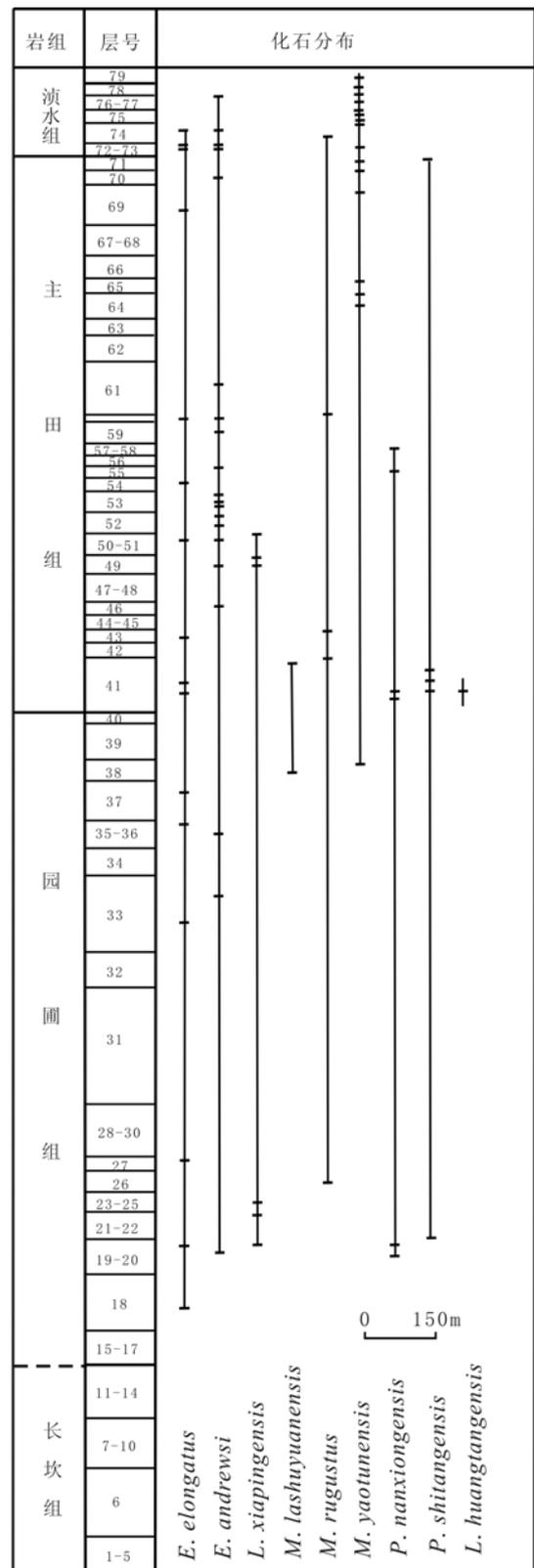


图 14 南雄蛋化石分布图

Fig. 14 Distribution of egg fossils in Nanxiong

长形长形蛋 *Elongatoolithus elongates* (Young) Zhao, 1975

粗皮巨形蛋 *Macroolithus rugustus* (Young) Zhao, 1975

瑶屯巨形蛋 *Macroolithus yaotunensis* Zhao, 1975

石塘羽片蛋 *Pinnatoolithus shitangensis* Fang, 2009

主田组:

- 安氏长形蛋 *Elongatoolithus andrewsi* (Young) Zhao, 1975
- 长形长形蛋 *Elongatoolithus. elongatus* (Young) Zhao, 1975
- 瑶屯巨形蛋 *Macroolithus yaotunensis* Zhao, 1975
- 南雄羽片蛋 *Pinnatoolithus nanxiongensis* Fang, 2009
- 石塘羽片蛋 *Pinnatoolithus shitangensis* Fang, 2009
- 黄塘披针蛋 *Lanceoololithus huangtangensis* Fang, 2009

园圃组:

- 安氏长形蛋 *Elongatoolithus andrewsi* (Young) Zhao, 1975
- 长形长形蛋 *Elongatoolithus. elongatus* (Young) Zhao, 1975
- 下坪披针蛋 *Lanceoololithus xiapingensis* Fang, 2009
- 腊树园巨形蛋 *Macroolithus lashuyuanensis* Fang, 2009
- 粗皮巨形蛋 *Macroolithus rugustus* (Young) Zhao, 1975
- 瑶屯巨形蛋 *Macroolithus yaotunensis* Zhao, 1975
- 南雄羽片蛋 *Pinnatoolithus nanxiongensis* Fang, 2009
- 石塘羽片蛋 *Pinnatoolithus shitangensis* Fang, 2009

宏观白垩纪后期恐龙蛋的变化, 在地层中出现的长形蛋仅在个体大小、蛋壳厚薄程度上有一些变化, 在蛋壳结构方面的变异相对要稳定。然而圆形蛋类的变化明显要丰富得多, 蛋壳结构的变化异常迅速。甚至于物种为适应环境、提高孵化率, 蛋壳的透气性能增强, 气孔道数量由稀少到异常丰富, 直至后期更明显特化为典型的树枝状; 从蛋壳横切面可见棱柱层被通透成筛网状, 纵切面观蛋壳孔道形成丛状结构, 出现了树枝蛋、杨氏蛋等类型。这些恐龙蛋在豫西南—鄂西北一带很发育, 时代延续很长, 化石分布很密集。相比之下, 尽管西峡地区含蛋层位没有南雄多, 但各层的恐龙蛋分布数量要多于南雄, 这在西峡三里庙恐龙蛋遗迹馆可以看到。此外, 南雄产出的圆形蛋壳的自身结构出现了变异, 分化出羽状结构和披针结构。通过对羽状蛋化石研究, 已揭示出恐龙蛋到鸟蛋的进化, 是由于蛋壳棱

柱层出现了从‘层状结构’到‘羽状结构’的变化; 在与现代鸟禽类对比后确认, 恐龙蛋的棱柱层相当于鸟禽类的鳞片层(带); 具有羽状结构的蛋化石是恐龙蛋演化到鸟蛋的一种中间类型, 其变异特征一直延续到现今的鸟禽类的蛋壳中。同时在这些圆形蛋中, 蛋壳还不断发生同种异态上的变化, 相伴出现了蛋壳棱柱层减薄的现象, 以至于棱柱层完全消失, 仅被保留下乳突层。蛋壳上的这些变化, 反映小型兽脚类向鸟类急剧演化的趋势。

4.5.2 南雄盆地与丹霞盆地

南雄盆地与丹霞盆地位于广东韶关东北部, 地处南岭山系中段。中生代中后期盆地形成, 并开始接受巨厚碎屑岩沉积。两个盆地曾分别使用的‘南雄群’和‘丹霞组’实际代表了同时期的沉积。经修订, 广东南雄盆地与丹霞盆地白垩纪地层对比如表 5 所示。

4.6 三水盆地蛋化石

三水盆地位于广东省中南部, 形状近乎菱形, 南北长, 东西窄。盆地分布北至清远, 西至鼎湖区, 南至顺德一带, 东至广州黄埔区; 三水盆地大部被北江及西江环绕, 为一中—新生代沉积盆地(图 15); 其中白垩纪地层呈北西—南东向分布, 由下而上分有白鹤洞组、三水组、大壘山组。20 世纪 90 年代在广州市白鹤洞、番禺市石屏、南海市平洲镇一带发现过恐龙蛋, 曾被鉴定为长形蛋 *Elongatoolithus* 和副圆形蛋 *Paraspheroolithus* 两个属。自 2000 年以来笔者在盆地的河口、大塘、石角、白土等多处地点找到蛋化石, 初步鉴定如下:

石角

- 安氏长形蛋 *Elongatoolithus andrewsi* (Young) Zhao, 1975
- 长形长形蛋 *Elongatoolithus. elongatus* (Young) Zhao, 1975
- 下坪披针蛋 *Lanceoololithus xiapingensis* Fang, 2009

表 5 南雄盆地—丹霞盆地白垩系对比表
Table 5 Correlation of Cretaceous in the Nanxiong and Danxia Basins

丹霞盆地		南雄盆地				南雄盆地	丹霞盆地
张显球 1992		张显球 1984		李佩贤等 2007		方晓思等 2009. 4.	
K ₂		南雄群	浈水组	南雄群	浈水组	南雄群	浈水组
			主田组		主田组		主田组
			园圃组		园圃组		园圃组
K ₁		南雄群	大风组	南雄群	松山组	南雄群	园圃组
			长坝组		长坝组		长坝组

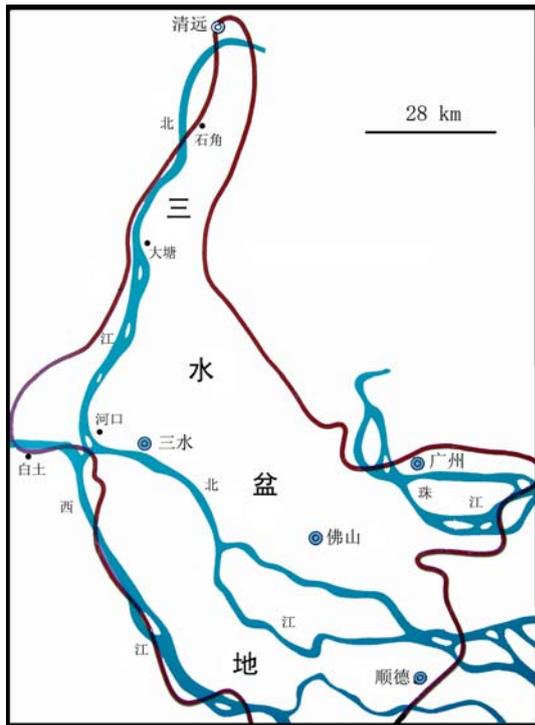


图 15 广东三水盆地示意图(引自张显球等, 1993)
 Fig. 15 Sketch map of Sanshui basin in Guangdong (modified from Zhang et al., 1993)

- 瑶屯巨形蛋 *Macroolithus yaotunensis* Zhao, 1975
- 石塘羽片蛋 *Pinnatoolithus shitangensis* Fang, 2009
- 大塘
- 石塘羽片蛋 *Pinnatoolithus shitangensis* Fang, 2009
- 下坪披针蛋 *Lanceoololithus xiapingensis* Fang, 2009
- 安氏长形蛋 *Elongatoolithus andrewsi* (Young) Zhao, 1975
- 南雄羽片蛋 *Pinnatoolithus nanxiongensis* Fang, 2009
- 长形长形蛋 *Elongatoolithus. elongatus* (Young) Zhao, 1975
- 长形蛋(未定种) *Elongatoolithus* sp.

原始鸟蛋(未定种) *Protornithoolithus* sp.

河口

下坪披针蛋 *Lanceoololithus xiapingensis* Fang, 2009

白土

瑶屯巨形蛋 *Macroolithus yaotunensis* Zhao, 1975

安氏长形蛋 *Elongatoolithus andrewsi* (Young) Zhao, 1975

长形长形蛋 *Elongatoolithus. elongatus* (Young) Zhao, 1975

南雄羽片蛋 *Pinnatoolithus nanxiongensis* Fang, 2009

4.7 新疆准噶尔盆地

准噶尔盆地位于新疆北部, 中-新生代地层分布广, 尤其三个泉地区地层连续, 化石丰富, 是研究中-新生代地层与古生物演化的理想地区之一(图 16)。2007 年中美科考队合作对富蕴县杜热、喀拉布勒根(二牧场)和福海县三个泉、顶山等地进行了野外考察, 在三个泉乌伦古河组发现了丰富古脊椎动物化石和恐龙蛋化石。

准噶尔盆地蛋化石序列

乌伦古河组:

- 三个泉羽片蛋 *Pinnatoolithus sangequanensis* Fang, 2009
- 准噶尔披针蛋(新种) *Lanceoololithus junggarensis* Fang, sp. nov.
- 长形蛋(未定种) *Elongatoolithus* sp.

5 爬行动物的生存(生态)行为

5.1 河流与恐龙、龟鳖类、鳄类的生态关系

恐龙的生活、迁徙与产卵等行为都离不开水系, 特别是龟鳖类、鳄类更离不开水的环境, 它们的存在具有指示生态环境的作用。豫西南-鄂西北一带地处汉江水系, 这一带发育了淇河、湍河及老灌河 3

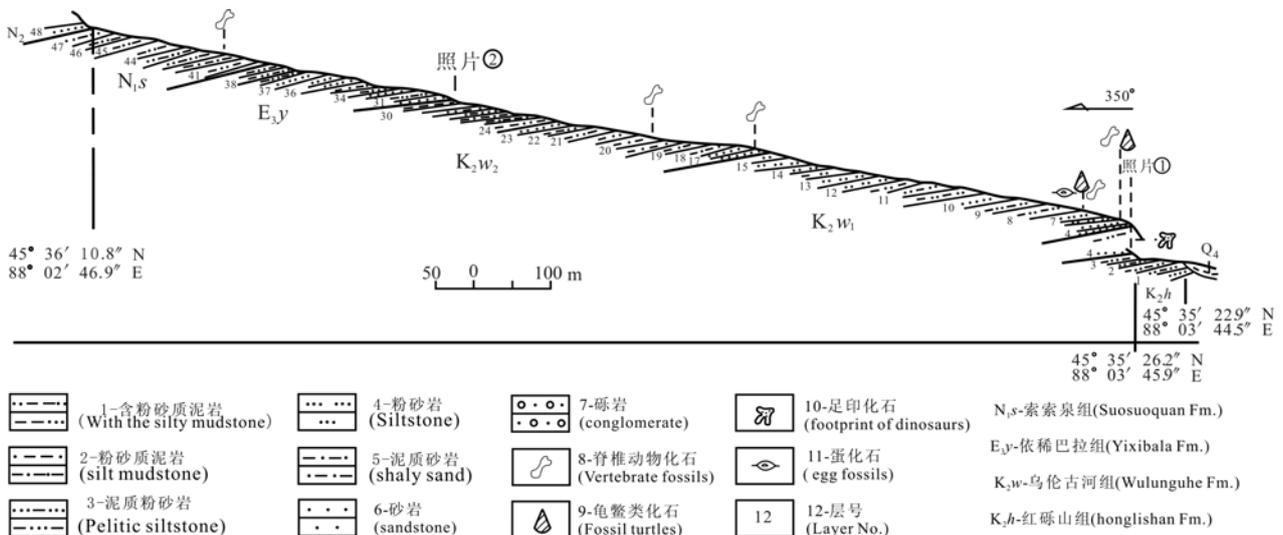


图 16 新疆准噶尔盆地三个泉实测剖面(李永安等绘制, 本文略有修改)
 Fig. 16 The Sangequan section in Zhungar basin, Xinjiang (modified from Li Yong-an et al.)

条河流,特别是老灌河贯穿了桑坪—夏馆盆地、西坪—赤眉盆地、浙川滔河盆地、郧县—郧西盆地。几个盆地平行排列,之间的相邻距离大约在20 km左右,各盆地通过河流串连起来,并保持着地域间的联系。恐龙等生物通过河流在其间自由迁徙,可以在上游地带产卵,孵化后的成年个体及幼体又能顺着水流回到湖泊沼泽地带生活。因此自赵营组沉积期以来,盆地之间通过河流有效地连接起来,使这一区域的蛋化石表现出类型一致,以透气性能完好的树枝蛋类型为其特征。另外在广东也可以发现,南雄盆地地处粤东北,它与粤中南部三水盆地相距近300 km。尽管两地相距遥远,但盆地间的恐龙蛋类型却极其相同。各自盆地中所产恐龙蛋化石不仅以长形蛋为主,并且在属种类型上也极其一致。而粤中一带的河源盆地,离南雄盆地更近些,但不难看出二者间的蛋化石类型差别很大。河源盆地主要以圆形蛋为主,不仅缺少长形蛋种类,尤其还出现了树枝蛋属种。经过分析发现,上述情况与河流有密切关系。南雄盆地与三水盆地之间由浈水和北江相连,河流把盆地连通起来,方便了生物迁徙与分布。而南雄盆地与河源盆地没有连接的渠道,因此影响着种群的联系。

5.2 不同恐龙种群会选择适宜的区域生存,并接受环境的控制

鳄鱼蛋是一种指相化石,它在西峡—内乡盆地以东出现。这一带地势平缓,水体发育,属河流的下游,并多有恐龙骨骼出露,是生物生活区域;西部地势高,季节性水流发育,而少见恐龙化石,大量蛋化石密布,明显是恐龙产蛋区域。

不同时期蛋化石分布密度不同,如茧场和三里庙分布有不同类型的两种圆形蛋,茧场地层层位低,时代偏老,在4 m×4 m的探坑内有3窝蛋化石,呈三角形分布,每窝8~9枚,窝距3 m左右;而三里庙恐龙蛋遗迹馆出露的蛋化石,单位面积的数量巨大,每窝20~30枚,窝与窝之间相距10~20 cm,表现出两个时期的不同进化趋势,后期的类型更适应环境的变化。

在河南西峡县南北2个盆地中,产出的蛋化石均以圆形蛋为主,特别是蛋壳功能向着增加透气性方向演化,出现了大量蜂窝蛋、丛状蛋类型,表现出“适者生存”的自然选择规律;

广东南雄盆地与三水盆地的蛋化石组合序列相似,均以长形蛋分布为主要特征,只是缺少了树枝蛋属种;河源盆地蛋化石地层则多见数量众多

的圆形蛋类,还特别发育有树枝蛋,仅在盆地上部才见到长形蛋类型。可以看出两个盆地的生物群面貌不同,一方面受到地理环境隔离的影响,另一方面长形蛋类的恐龙与树枝蛋类的恐龙存在相互制约的可能。

5.3 在演化过程中,圆形类蛋化石表现出很强的变异趋势

从早期蛋壳气孔道的变化,到后来蛋壳羽状结构的出现,可以看出圆形蛋类的变异速度比长形蛋要快。如杨氏蛋气孔道是以平行的栅栏状为特征,到后期又出现丛状分布的树枝蛋类,其特征是气孔道的数量增加,这种变异可以有效改善透气性能,容易使胚胎获得外界氧气,顺利进行新陈代谢,促进胚胎发育,提高孵化率。蛋壳气孔道的发育是一种适应环境的表现,它依赖环境,得利于环境,直接受到环境影响,特别在大环境突变时,孵化中的胚胎不能有效保持体温,因此特化的种群很容易遭受大规模的淘汰。变异在另一类圆形恐龙蛋中出现了放射状的羽状结构和披针结构,这种演变改变了以往恐龙蛋的层状结构,出现了从恐龙向鸟类进化的这一发展过程。

5.4 引起恐龙绝灭的原因可能是由于天气变冷

温度降低,由此影响恐龙不能正常孵化,生殖链被打断所致。对照现生的爬行动物,它们无论对食物摄入、消化与吸收,还是在产卵、孵化以及幼体成长过程中,都受到了温度的制约。在繁殖期间,它们会忠实地遵照记忆中的路线,将卵产在适宜的巢穴中,而后就完全依靠自然沙温孵化幼仔。在孵化的日子里,各种因素都会对受精卵产生一定影响,诸如巢穴的位置、沙地的颗粒大小、季节、湿度、天敌、疾病等,然而温度是最重要的因素,起到决定性的作用。温度高低可决定孵化时间长短,温度过高(35℃以上)受精卵会热死,温度过低(22℃以下)胚胎停止发育;因此温度是孵化的一个重要条件。当受精卵对温度变化的承受能力降低,孵化的成功率就降低,该种群就将面临数量减少。总体说来,恐龙的绝灭同白垩纪末期气候变化有关,涉及到突发性灾难或持续的降温事件。由于冷血动物适应不了长期变冷的气候,不仅恐龙自身,就连产下的卵也没有抗御寒冷的能力,依靠阳光和沙滩的温度进行孵化,成活率明显降低,在一个相对不长的地质历史进程中,大批恐龙必然逃脱不了物种的灭亡。不仅如此,温度的极端变化还影响了爬行动物雌雄个体数量比例的变化,造成种群性别比例失调,直接影

响到种群基因库的变化。

5.5 分析龟鳖类为什么能够从中生代延续到今日?

主要原因可能归结于:①龟鳖类个体小,能量消耗少,容易寻找到合适的场所躲避寒冷;②具有甲壳的保护,可以抵御寒冷;③适应水中生活,在一定程度上水体起到保护作用;④龟鳖类蛋壳具有独特的结构特征,这是该种群能够延续下来的重要原因之一。与恐龙蛋壳棱柱体单元结构不同,龟鳖类的蛋壳由文石(aragonite)构成,文石的结晶呈细棒状,并以放射状组成丛状单元体;单元体之间相互交织在一起,形成既轻巧又坚固的丛状体保护层;由于丛状体自身和丛状体之间具有密集的气孔道,它保证了壳内良好的透气性能。如龟鳖类卵壳图所示,丰富的气孔道增强了受精卵与外界的联系,发挥出蛋壳具有通气性能完好的优势。丛状体的气孔道成为一扇开闭自如的“天窗”,随着环境气温的升降,“天窗”细小的孔道具有热胀冷缩的物理性能,有效地调节着蛋壳的孔隙。温度低,空隙变小以致关闭,对受精卵起到保温作用,温度高,孔隙变大,受精卵与外界进行空气和水交换流畅,又起到降温作用,提高了孵化率,对后代的繁衍起到保障作用。相比之下,特化后的恐龙蛋壳气孔道直径增大、数量增多,提高了透气性能,但失去了保温能力,它只适应当时温暖的气候,而不能适应多变的环境。从中我们似乎探寻到龟鳖类能够从中生代延续到今天的一些奥秘。

致谢:感谢邢裕盛先生对我们的培养与教诲,同时借此机会也向中国地质博物馆,以及曾经合作过、支持过我们的老师、同仁表示由衷的谢意。

参考文献:

安成才,李毅,朱玉贤,沈兴,张昀,由凌涛,梁晓文,李小华,吴思,伍鹏,顾红雅,周曾铨,陈章良. 1995. 中国河南西峡恐龙蛋化石中 18SrDNA 部分片段的克隆及序列分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 31(2): 140-147.

程政武,方晓思,王毅民,邹喻苹,尹蓁,张昀,李广岭. 1995. 河南西峡盆地白垩纪产恐龙蛋地层研究新进展[J]. 科学通报, 40(16): 1487-1490.

方晓思,程政武,蒋严根,杨良锋. 2003. 浙江天台地区赖家组的划分与分布[J]. 地质通报, 22(1): 21-27.

方晓思,程政武,张志军,庞其清,韩迎建,谢宏亮,李佩贤. 2007. 豫西南—鄂西北一带恐龙蛋化石演化序列与环境变迁[J]. 地球学报, 28(2): 97-110.

方晓思,李佩贤,张志军,张显球,林有利,郭盛斌,程业明,李震宇,张晓军,程政武. 2009. 广东南雄白垩系及恐龙蛋到

鸟蛋演化研究[J]. 地球学报, 30(2): 167-186.

方晓思,卢立伍,程政武,邹喻苹,庞其清,王毅民,陈克樵,尹蓁,王晓红,刘金茹,谢宏亮,靳悦高. 1998. 河南西峡白垩纪蛋化石[M]. 地质出版社.

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

方晓思,王耀忠,蒋严根. 2000. 浙江天台晚白垩世蛋化石生物地层研究[J]. 地质论评, 46(1): 105-112.

方晓思,张志军,庞其清,李佩贤,韩迎建,谢宏亮,闫荣浩,庞丰久,吕景禄,程政武. 2007. 河南西峡白垩纪地层和蛋化石[J]. 地球学报, 28(2): 123-142.

方晓思,张志军,张显球,卢立伍,韩迎建,李佩贤. 2005. 广东河源盆地蛋化石[J]. 地质通报, 24(7): 682-686.

方晓思,邹喻苹. 1996. 河南西峡蛋化石及其地层[J]. 科学中国人, 12: 11-14.

方晓思. 2006. 河南西峡蛋化石博物馆内容设计[R].

李佩贤,程政武,张志军,方晓思. 2007. 广东南雄盆地的“南雄层”和“丹霞层”[J]. 地球学报, 28(2):181-189.

李毅,安成才,朱玉贤,张昀,刘一飞,曲林,由凌涛,梁晓文,李小华,瞿礼嘉,周曾铨,陈章良. 1995. 中国河南西峡晚白垩世恐龙蛋化石基因分离及序列分析[J]. 北京大学学报(自然科学版),31(2): 148-152.

李酉兴,刘羽,陈宪,赵桂林. 1996. 恐龙胚胎研究(II)-椭圆蛋中的雏骨[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 21(6):608-610.

李酉兴,尹仲科,刘羽. 1995. 河南西峡恐龙蛋一新属的发现[J]. 武汉化工学院报, 17(1): 38-41.

牟耘. 1992. 广东省南雄盆地晚白垩世恐龙蛋孵化期的微环境[J]. 古脊椎动物与古人类, 30(2): 120-134.

童永生,李曼英,李茜. 2002. 广东南雄盆地白垩系—古近系界线[J]. 地质通报, 21(10): 668-674.

王存义,甄朔南. 1963. 山东、广东爬行动物蛋化石埋藏方式的观察[J]. 古脊椎动物与古人类, 7(4): 368-369.

王德有,周世全. 1995. 西峡盆地新类型恐龙蛋化石的发现[J]. 河南地质, 13(4): 262-267.

杨洪,程安进,杨群. 1998. 地质体中主要生物分子的研究方法及应用[J]. 地质论评, 44(1): 44-51.

杨钟健,孙艾玲. 1960. 中国鸵鸟蛋化石的新发现和其在地层上的意义[J]. 古脊椎动物与古人类, 2(2): 115-119.

杨钟健. 1965. 广东南雄、始兴、江西赣州的蛋化石[J]. 古脊椎动物与古人类, 9(2): 141-189.

尹蓁,陈浩,王子平,张志宪,邹喻苹,方晓思,王槐春. 1996. 一枚恐龙蛋内细胞色素 b 基因片段的序列分析[J]. 遗传学报, 23(3): 190-195.

曾德敏,张金鉴. 1979. 湖南洞庭盆地西部的恐龙蛋化石[J]. 古脊椎动物与古人类, 17(2): 131-136.

张显球,方晓思,张志军,黄尚波. 2006. 南雄盆地地层及古生物研究历史回顾[M]. 中国科技发展精典文库, 中国档案出版社, 1081-1092.

- 张显球, 李宏博, 张志军, 方晓思. 2007. 南雄盆地武台岗白垩系与古近系界线剖面研究进展[J]. 地球学报, 28(3): 299-308.
- 张显球, 林建南, 李罡, 凌秋贤. 2006. 南雄盆地大塘白垩系 - 古近系界线剖面研究[J]. 地层学杂志, 30(4): 327-340.
- 张显球, 凌秋贤. 2004. 南雄盆地白垩-古近系(E/K)界线研究现状[J]. 见: 董为主编《第九届中国古脊椎动物学学术年会论文集》, 北京: 海洋出版社, 35-42.
- 张显球, 周晓萍, 陈修奕. 1993. 三水盆地白垩 - 第三纪钻井地层划分对比图集[M]. 北京: 海洋出版社.
- 张显球. 1984. 南雄盆地坪岭剖面罗佛寨群的划分及其生物群[J]. 地层学杂志, 8(4): 239-254.
- 张显球. 1992. 丹霞盆地白垩系的划分与对比[J]. 地层学杂志, 16(2): 81-95.
- 张昀, 方晓思. 1995. 中国河南西峡盆地晚白垩世的一枚保存有遗传信息的恐龙蛋: 结构、矿物 - 化学组成及埋藏学分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 31(2): 129-139.
- 赵宏, 赵资奎. 1998. 河南淅川盆地的恐龙蛋[J]. 古脊椎动物学报, 36(4): 282-296.
- 赵宏, 赵资奎. 1999. 辽宁黑山恐龙蛋—长形蛋类新分子的发现及其意义[J]. 古脊椎动物与古人类, 37(4): 278-284.
- 赵资奎, 蒋元凯. 1974. 山东莱阳恐龙蛋化石的显微结构研究[J]. 中国科学, 1: 63-77.
- 赵资奎, 李荣. 1993. 内蒙古巴音满都呼晚白垩世棱齿龙蛋化石的发现[J]. 古脊椎动物与古人类, 31(2): 77-84.
- 赵资奎. 1975. 广东南雄恐龙蛋化石的显微结构(1)—兼论恐龙蛋化石的分类问题[J]. 古脊椎动物与古人类, 13(2): 105-177.
- 赵资奎. 1979. 我国恐龙蛋化石研究的进展[J]. 华南中、新生代红层论文集, 330-403.
- 周明镇. 1951. 山东莱阳白垩纪后期恐龙化石及蛋化石[J]. 中国地质学会志, 31(1-4): 89-96.
- 周世全, 冯祖杰, 王德有. 1998. 河南西峡盆地恐龙蛋化石及略论恐龙绝灭问题[J]. 岩相古地理, 18(5): 57-63.
- 周修高, 任有福, 徐世球, 关康年. 1998. 湖北郧县青龙山一带晚白垩世恐龙蛋化石[J]. 湖北地矿, 12(3): 1-8.
- 邹喻苹, 尹蓁, 方晓思, 李广岭, 张昀. 1995. 西峡晚白垩世恐龙蛋化石内的DNA[J]. 科学通报, 40(8): 737-740.
- 左权, 靖伟德. 1995. 应用医疗CT扫描法观察恐龙蛋化石的内部结构[J]. 古生物学报, 34(6): 777-778.
- CHENG Zheng-wu, FANG Xiao-si, WANG Yimin, ZOU Yu-ping, YI Zhen, ZHANG Yun, LI Guang-ling. 1995. New advancement on the research of Cretaceous dinosaur-egg-bearingbeds in Xixia Basin, Henan[J]. Chin. Sci. Bull., 40(16): 1487-1490.
- ERBEN H K, ASHRAF A R, BOHM H, HAHN G, HAMBACH U, KRUMSIEK K, STETS J, THRIN J, WURSTER P. 1995. Die Kreide/Tertiar im Nanxiong-Becken (Kontinentalfazies, Sudsdrchina) [J]. Erdwiss Forsch Akad Wiss Lit. Mainz, 32: 1-245.
- FANG Xiao-si, CHENG Zheng-wu, JIANG Yan-gen, YANG Liang-feng. 2003. Redefinition and distribution of the Laijia Formation in the Tiantai basin, Zhejiang Province[J]. Geological Bulletin of China, 22(1): 21-27.
- FANG Xiao-si, CHENG Zheng-wu, ZHANG Zhi-jun, PANG Qi-qing, HAN Ying-jian, XIE Hong-liang, LI Pei-xian. 2007. Evolutionary Series of Dinosaur Eggs and Environmental Changes in Southwestern-Northwestern Hubei [J]. Acta Geoscientica Sinica, 28(2): 97-110 (in Chinese with English abstract).
- FANG Xiao-si, LI Pei-xian, ZHANG Zhi-jun, ZHANG Xian-qiu, LIN You-li, GUO Sheng-bin, CHENG Ye-ming, LI Zhen-yu, ZHANG Xiao-jun, CHENG Zheng-wu. 2009. On the Cretaceous in Nanxiong, Guangdong and the Evolution from Dinosaur egg to Bird egg[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(2): 167-186 (in Chinese with English abstract).
- FANG Xiao-si, LU Li-wu, CHENG Zheng-wu, ZHOU Yu-ping, PANG Qi-qing, WANG Yi-min, CHEN Ke-qiao, YI Zhen, WANG Xiao-hong, LIU Jin-ru, XIE Hong-liang, JIN Yue-gao. 1998. On the Cretaceous Fossil Eggs of Xixia County, Henan Province[M]. Geological Publishing House, Beijing.
- FANG Xiao-si, LU Li-wu, JIANG Yan-gen, YANG Liang-feng. 2003. Cretaceous fossil eggs from the Tiantai basin of Zhejiang, with a discussion on the extinction of dinosaurs[J]. Geological Bulletin of China, 22(7): 512-520.
- FANG Xiao-si, WANG Yao-zhong, JIANG Yan-gen. 2000. On the Late Cretaceous Fossil Eggs of Tiantai, Zhejiang[J]. Geological Review, 46(1): 105-112.
- FANG Xiao-si, ZHANG Zhi-jun, PANG Qi-qing, LI Pei-xian, HAN Ying-jian, XIE Hong-liang, YAN Rong-hao, PANG Feng-jiu, Lü Jing-lu, CHENG Zheng-wu. 2007. Cretaceous Strata and Egg Fossils in Xixia, Henan Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 28(2): 123-142 (in Chinese with English abstract).
- FANG Xiao-si, ZHANG Zhi-jun, ZHANG Xian-qiu, LU Li-wu, HAN Ying-jian, LI Pei-xian. 2005. Fossil eggs from the Heyuan basin, east-central Guangdong, China [J]. Geological Bulletin of China, 24(7): 682-686 (in Chinese with English abstract).
- FANG Xiao-si, ZHOU Yu-ping. 1996. On the Fossil Eggs of Xixia

References:

- AN Cheng-cai, LI Yi, ZHU Yu-xian, SHEN Xing, ZHANG Yun, YOU Ling-tao, LIANG Xiao-wen, LI Xiao-hua, WU Si, WU Peng, GU Hong-ya, ZHOU Zeng-quan, CHEN Zhang-liang. 1995. Molecular Cloning and sequencing the 18srDNA from Specialized Dinosaur Egg Fossil Found in XiXia Henan, China[J]. Uni-versitatic Pekinenses(Acta Scintiarum Naturalium): 31(2):140-147.

- County, Henan and Their Strata [J]. *Scientific Chinese*, 12: 11-14.
- FANG Xiao-si. 2006. Xixia Museum of Fossil Eggs of China[R].
- HIRSCH K F, QUINN B. 1990. Eggs and eggshell fragments from the Upper Cretaceous two medicine formation of Montana[J]. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 10(4): 491-511.
- LI Pei-xian, CHENG Zheng-wu, ZHANG Zhi-jun, FANG Xiao-si. 2007. The Nanxiong Bed and Danxia Bed in the Nanxiong Basin of Guangdong Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(2): 181-189 (in Chinese with English abstract).
- LI Yi, AN Cheng-cai, ZHU Yu-xian, ZHANG Yun, LIU Yi-fei, QU Lin, YOU Ling-tao, LIANG Xiao-wen, LI Xiao-hua, XU Li-jia, ZHOU Zeng-quan, CHEN Zhang-liang. 1995. DNA Isolation and Sequence Analysis of Dinosaur DNA from Cretaceous Dinosaur Egg in Xixia Henan, China[J]. *Universitatic Pekinenses(Acta Scientiarum Naturalium)*: 31(2): 148-152.
- LI You-xing, LIU Yu, CHEN Xian, ZHAO Gui-lin. 1996. Dinosaurian Embryo II: Young Dinosaur-Bones In *Ovaloolithus*. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 21(6): 608-610.
- LI You-xing, YIN Zhong-ke, LIU Yu. 1995. The Discovery of a New Genus of Dinosaur Egg from Xixia, Henan, China[J]. *J. Wuhan Inst. Chem. Tech*, 17(1): 38-41.
- MIKHAILOV K E. 1988. The Microstructure of Avian and Dinosaurian Eggshell: Phylogenetic Implications. *Papers in Avian Paleontology*[M], Honoring Pierce Brodkors, 361-373.
- MOU Yun. 1992. Nest Environments of the Late Cretaceous Dinosaur Eggs from Nanxiong Basin Guangdong Province[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 30(2): 120-134.
- TONG Yong-sheng, LI Man-ying, LI Qian. 2002. The Cretaceous-Paleogene Boundary in the Nanxiong Basin, Guangdong Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(10): 668-674.
- WANG Cun-yi, ZHEN Suo-nan. 1963. Observation of the Mode of Occurrence of Fossil Reptilian Eggs from Shantung [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 7(4): 368-369.
- WANG De-you, ZHOU Shi-quan. 1995. The Discovery of new Typical Dinosaur Egg Fossils in Xixia Basin[J]. *Henan Geology*, 13(4): 262-267.
- Wang Xiao-lin, Zhou Zhong-he. 2004. Pterosaur embryo from the Early Cretaceous[J]. *Nature*, 429: 621
- YANG Hong, CHENG Anjin, YANG Qun. 1998. Biomolecules in the Geological Record: Recovery and Application[J]. *Geological review*. 44(1): 44-51.
- YIN Zhen, CHEN Hao, WANG Zi-ping, ZHANG Zhi-xian, ZHOU Yu-ping, FANG Xiao-si, WANG Huai-chun. 1996. Sequence Analysis of the Cytochrome *b* Gene Fragment in a Dinosaur Egg. *Acta Genetica Sinica*: 23(2): 190-195.
- YOUNG Chung-chien, SUN Ai-lin. 1960. New Discoveries of Fossil *Struthio* Eggs in China and Their Stratigraphical Significance[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 2(2): 115-119.
- YOUNG Chung-chien. 1965. Fossil Eggs from Nanshiung, Kwangtung and Kanchou, Kiangsi[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 9(2): 141-189.
- ZHANG Xian-qiu, FANG Xiaosi, ZHANG Zhi-jun, HUANG Shang-po. 2006. The Red Beds in the Nanxiong Basin and Reviewing the History of Paleontological Studies [J]. In: YANG Xu. *Science And Technology Development Literature Library*[M]. Beijing: China Archives Press, 1081-1092.
- ZHANG Xian-qiu, LI Hong-bo, ZHANG Zhi-jun, FANG Xiao-si. 2007. New Advances in the Study of Cretaceous and Paleogene Boundary on the Wutaigang Section of the Nanxiong Basin, Guangdong Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(3): 299-308 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Xian-qiu, LIN Jian-nan, LI Gang, LING Qiu-xian. 2006. Non-Marine Cretaceous-Paleogene Boundary Section at Datang of Nanxiong, Northern Guangdong [J]. *Journal of Stratigraphy*, 30(4): 327-340.
- ZHANG Xian-qiu, LIN Qiu-xian. 2004. Research Status about the E/K Boundary in Nanxiong Basin[J]. In: DONG Wei. *Proceedings of the Ninth Annual Meeting of the Chinese Society of the Vertebrate Paleontology*[M]. Beijing: China Ocean Press, 35-42.
- ZHANG Xian-qiu, ZHOU Xiao-ping, CHEN Xiu-yi. 1993. Atlas of Cretaceous to Tertiary Strata Classification In The Sanshui Basin of South China [M]. Marine Press, Beijing, China.
- ZHANG Xian-qiu. 1981. On the Dafeng Section, Nanxiong, Guangdong [R].
- ZHANG Xian-qiu. 1984. Division and Biota of the Luofuzhai Group in the Pingling Section of the Nanxiong Basin, Guangdong[J]. *Journal of Stratigraphy*, 8(4): 239-254.
- ZHANG Xian-qiu. 1992. Division and Correlation of the Cretaceous rocks in the Danxia Basin[J]. *Journal of Stratigraphy*, 16(2): 81-95.
- ZHANG Yun, FANG Xiao-si. 1995. A late cretaceous dinosaur egg with preserved genetic information from Xixia basin, Henan, China. Structure, mineral-chemical and taphonomical analyses[J]. *Universitatic Pekinenses(Acta Scientiarum Naturalium)*: 31(2): 129-139.
- ZHAO Hong, ZHAO Zi-kui. 1998. Dinosaur Eggs from Xichuan Basin, Henan Province [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 36(4): 282-296.
- ZHAO Hong, ZHAO Zi-kui. 1999. A New Form of Elongatoolithid Dinosaur Eggs from the Lower Cretaceous Shaha Formation of Heishan, Liaoning Province[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 37(4): 278-284.
- ZHAO Zi-kui, JIANG Yuan-kai. 1974. Microscopic Studies on the

- Dinosaurian Eggshells from Laiyang Shandong Province[J]. *Sci. Sin.*, 1: 63-77.
- ZHAO Zi-kui, LI Rong. 1993. First Record of Late Cretaceous Hypsilophodontid Eggs from Bayan Manduhu, Inner Mongolia [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 31(2): 77-84.
- ZHAO Zi-kui, YE Jie, LI Hua-mei, ZHAO Zhen-hua, YAN Zheng. 1991. Extinction of the Dinosaurs across the Cretaceous-Tertiary Boundary in Nanxiong Basin, Guangdong Province[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 29(1): 1-20.
- ZHAO Zi-kui. 1975. The Microstructure of the Dinosaurian Eggshells of Nanhsing, Kwangtung (1) [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 13(2): 105-177.
- ZHAO Zi-kui. 1979. The Advancement of Research on the Dinosaurian Eggs in China[J]. In IVPP and NGPI(eds.), *Mesozoic and Cenozoic Redbeds in Southern China*. (Beijing: Science Press), 330-403.
- ZHAO Zi-kui. 1990. Mass Extinction across the Cretaceous-Tertiary Boundary at Nanxiong Basin, Guangdong Province[J]. *A Monthly Journal of Science*, 35(11): 380.
- ZHAO Zi-kui. 1993. Structure, Formation and Evolutionary Trends of Dinosaur Eggshells[A]. In: Koayashi I, Mutvei H, Sahni A, eds. *Structure, formation and evolution of fossil hard tissues*[M]. Tokyo: Tokai Univ Press, 195-212.
- ZHAO Zi-kui. 1996. The Dinosaur Eggs in China: On the Structure and Evolution of Eggshells[A]. In K. Carpenter et al.: *Dinosaur Eggs and Babies*[M]. Cambridge University Press, Cambridge, 184-203.
- ZHENG De-min, ZHANG Jin-jian. 1979. On the Dinosaurian Eggs from the Western Dongting Basin, Hunan[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 17(2): 131-136.
- ZHOU Ming-zhen. 1951. Notes on the Late Cretaceous Dinosaurian Remains and the Fossil Eggs from Laiyang Shantung[J]. *Bulletin of the Geological Society of China*, 31(1-4): 89-96.
- ZHOU Shi-quan, FENG Zu-jie, WANG De-you. 1998. The dinosaur egg fossils from the Xixia Basin, Henan with discussions on dinosaur extinction[J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 18(5): 57-63.
- ZHOU Xiu-gao, REN You-fu, XU Shi-qiu, GUAN Kang-nian. 1998. Dinosaur Eggs of the Late Cretaceous from the Qinglongshan Region, Yunxian County, Hubei Province[J]. *Hubei Geology & Mineral Resources*, 12(3): 1-8.
- ZOU Yu-ping, YIN Zhen, FANG Xiao-si, LI Guang-ling, ZHANG Yun. 1995. Ancient DNA in Late Cretaceous Dinosaur Egg from Xixia County, Henan Province[J]. *Chinese Science Bulletin*, 40(10): 856-860.
- ZUO Quan, JING Wei-de. 1995. First Report on Studying Dinosaur Egg Fossils with Method of Medical CT Scanning[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 34(6): 777-778.