

王强,汪筱林.山东莱阳恐龙蛋研究新进展.吉林大学学报(地球科学版),2024,54(1):38-45.doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20230320.

Wang Qiang, Wang Xiaolin. New Progress on the Study of Dinosaur Eggs in Laiyang, Shandong. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2024, 54(1): 38 - 45. doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.20230320.

山东莱阳恐龙蛋研究新进展

王强¹,汪筱林^{1,2}

1.中国科学院古脊椎动物与古人类研究所/中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室,北京 100044

2.中国科学院大学地球与行星科学学院,北京 100049

摘要:本文简单回顾了山东莱阳恐龙蛋化石群的发现与研究历史,结合近年来在莱阳的新发现和恐龙蛋研究进展,莱阳恐龙蛋化石群的组成由之前的4科5属11种,修订为6科10属12种,另有1科未定和1个存疑种。将与其他地区恐龙蛋化石组合相比,莱阳恐龙蛋化石群的恐龙蛋类型多样、组合特征明显,是晚白垩世恐龙蛋组合的典型代表,这一组合也很好地反映了晚白垩世胶莱盆地王氏群较高的恐龙多样性。对山东莱阳恐龙蛋进行深入研究,将为进一步探讨晚白垩世莱阳的古地理和古环境等提供详实的古生物学证据。

关键词:恐龙蛋;恐龙蛋化石群;王氏群;晚白垩世;莱阳

doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.20230320

中图分类号: Q915.2; P52

文献标志码: A

New Progress on the Study of Dinosaur Eggs in Laiyang, Shandong

Wang Qiang¹, Wang Xiaolin^{1,2}

1. Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology/Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins of Chinese Academy of Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044, China

2. College of Earth and Planetary Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: This paper briefly reviewed the history of the discovery and research of dinosaur eggs in Laiyang, Shandong Province, China. Combining with the new discoveries in the Laiyang basin in recent years, the composition of the Laiyang dinosaur egg fauna was revised from 4 oofamilies, 5 oogenera and 11 oospecies to 6 oofamilies and progress on the dinosaur eggs, 10 oogenera and 12 oospecies, 1 oofamily indet. and 1 doubtful oospecies. Compared assemblages with other dinosaur egg faunas in China, the Laiyang dinosaur egg fauna is a typical representative of the Late Cretaceous dinosaur egg fauna with

收稿日期: 2023-11-19

作者简介: 王强(1979—),男,副研究员,博士生导师,主要从事恐龙蛋及其相关的地层学、古环境、古地理等方面的研究, E-mail: wangqiang@ivpp.ac.cn

通信作者: 汪筱林(1963—),男,研究员,博士生导师,主要从事翼龙、恐龙、恐龙蛋及其相关的地层学、沉积学、古环境、古地理等方面的研究, E-mail: wangxiaolin@ivpp.ac.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(42372008, 42288201); 中国科学院战略性先导科技专项(XDB26000000)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (42372008, 42288201) and the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Science (XDB26000000)

diverse egg types and distinctive assemblage characteristics. At the same time, this combination also well reflects the high diversity of dinosaurs in the Wangshi Group of the Jiaolai basin during the Late Cretaceous. Further study on it will provide detailed paleontological evidence for further discussion on the paleogeography and paleoenvironment of Laiyang area in the Late Cretaceous.

Key words: dinosaur egg; dinosaur egg fauna; Wangshi Group; Late Cretaceous; Laiyang

0 引言

山东莱阳是我国最重要的恐龙与恐龙蛋化石产地之一,也是我国地质古生物学家最早发现恐龙^[1]、恐龙蛋^[2]、翼龙^[3]、昆虫^[4]和植物^[5]化石的地区,在我国乃至世界古生物研究史上具有举足轻重的地位^[6]。基于此,2023年10月在莱阳成功地举办了“莱阳恐龙发现百年纪念大会”。

莱阳恐龙蛋的发现始于1950年春,山东大学地质矿物学系王麟祥和关光岳带领学生实习时,在莱阳金岗口和赵疃一带的上白垩统王氏群中发现了恐龙和恐龙蛋^[2],目前这批标本保存在吉林大学地质博物馆(原长春地质学院博物馆)。长春地质学院的前身东北地质学院是由山东大学地质矿物学系和东北大学地矿系合并而成。1951年,Chow^[2]初步报道了在莱阳发现的恐龙和恐龙蛋,这也是我国学者第一次报道在我国境内发现的恐龙蛋化石。1951年,杨钟健、刘东生和王存义组成考察队,对莱阳进行野外考察和发掘,采集到一批恐龙和恐龙蛋^[7]。1954年,杨钟健^[8]研究了采集于莱阳的恐龙蛋化石,根据蛋的宏观形态、蛋壳厚度和外表面纹饰等的差异提出了初步的恐龙蛋分类,命名了短圆蛋(*Oolithes spheroides*)和长形蛋(*Oolithes elongatus*);同年,周明镇^[9]对莱阳的恐龙蛋进行了蛋壳显微结构的观察和研究,证明这两种蛋的显微结构也有着显著的差异。1974年,赵资奎等^[10]深入研究了莱阳恐龙蛋化石的显微结构,尤其是在前人研究的基础上进一步制作了蛋壳的弦切面,发现莱阳的两种恐龙蛋显微结构要比周明镇^[9]所报道的复杂得多,因此将圆形蛋进一步分为五类。1975年,赵资奎^[11]在莱阳、南雄等地恐龙蛋研究的基础上,提出了目前国际通用的恐龙蛋分类和命名方法。此后,我国学者陆续报道了莱阳发现的恐龙蛋新类型及相关研究。

自2008年以来,汪筱林研究员基于莱阳在恐龙、恐龙蛋、翼龙等古脊椎动物和白垩纪地层的重要地位,带领科考队在莱阳开展了连续10多年的考察

与发掘工作,本文是团队近年来关于莱阳恐龙蛋研究进展的初步总结。

1 莱阳晚白垩世地层

莱阳地区白垩纪地层非常发育,包括早白垩世的莱阳群、青山群和晚白垩世的王氏群,地质年龄为130~70 Ma。上白垩统王氏群是一套以红色砾岩、砂岩和粉砂质泥岩为主的陆相河湖相沉积,直接覆盖在下白垩统青山群之上,广泛出露于莱阳、胶州、诸城等地^[12]。自1923年谭锡畴^[1]提出王氏系以来,许多科研单位先后对山东东部地区的岩石地层和生物地层做了大量研究工作。胡承志等^[13]对前人建立的岩石地层单位进行了修订,将莱阳地区出露的王氏群由下而上划分为辛格庄组、将军顶组和金刚口组。近年来的研究发现,山东东部王氏群将军顶组和金刚口组发现的恐龙蛋化石组合明显不同,将军顶组以圆形蛋类为主,其上覆的金刚口组则以椭圆形蛋类为主^[12];此外,上、下岩层中恐龙蛋蛋壳的氧同位素组成也明显不同^[12]。基于此,本文认为山东东部地区晚白垩世中一晚期地层界线应位于将军顶组与金刚口组分界处,为了便于与其他地区的恐龙蛋进行对比和讨论,本文采用这一地层划分方案。

2 莱阳恐龙蛋多样性

莱阳是我国重要的恐龙蛋化石产地,恐龙蛋化石种类繁多,也是我国地质古生物学者最早发现和研究恐龙蛋的地点,这样丰富的化石记录对于了解恐龙的生殖、生态行为,恐龙与恐龙蛋的对应关系尤为重要。综合近年来最新的恐龙蛋分类学研究,莱阳恐龙蛋包括长形蛋科、圆形蛋科、东阳蛋科、椭圆形蛋科、棱柱形蛋科和网形蛋科等6个蛋科,10个蛋属12个蛋种和1个存疑蛋种,以下分别记述各大类的研究进展。

2.1 长形蛋科

杨钟健^[8]在记述莱阳王氏群发现的恐龙蛋时,根据蛋的大小和蛋壳外表面纹饰特征,命名了长形

蛋。赵资奎^[11]把莱阳和南雄发现的长形蛋类化石材料的宏观形态特征及其蛋壳显微结构特征加以比较,建立了长形蛋属(*Elongatoolithus*)、巨形蛋属(*Macroolithus*)和南雄蛋属(*Nanhsiungoolithus*),合并为一蛋科,即长形蛋科(*Elongatoolithidae*),其中将莱阳金岗口发现的一窝恐龙蛋(V734)建立了长形蛋属一个蛋种长形长形蛋(*Elongatoolithus elongatus*) (图 1a, b)。一直以来,莱阳的长形蛋科被认为仅有长形长形蛋,近年来,在整理莱阳发现的恐龙蛋壳时,发现在金刚口组中的长形蛋类,除了长形长形蛋之外,有相当数量的蛋壳属于之前发现于广东南雄的瑶屯巨形蛋(*Macroolithus yaotunensis*)^[11] (图 1c) 和主田南雄蛋(*Nanhsiungoolithus chuetienensis*) (图 1d)。至此,莱阳发现的长形蛋科包括 3 属 3 种。

2.2 圆形蛋科和东阳蛋科

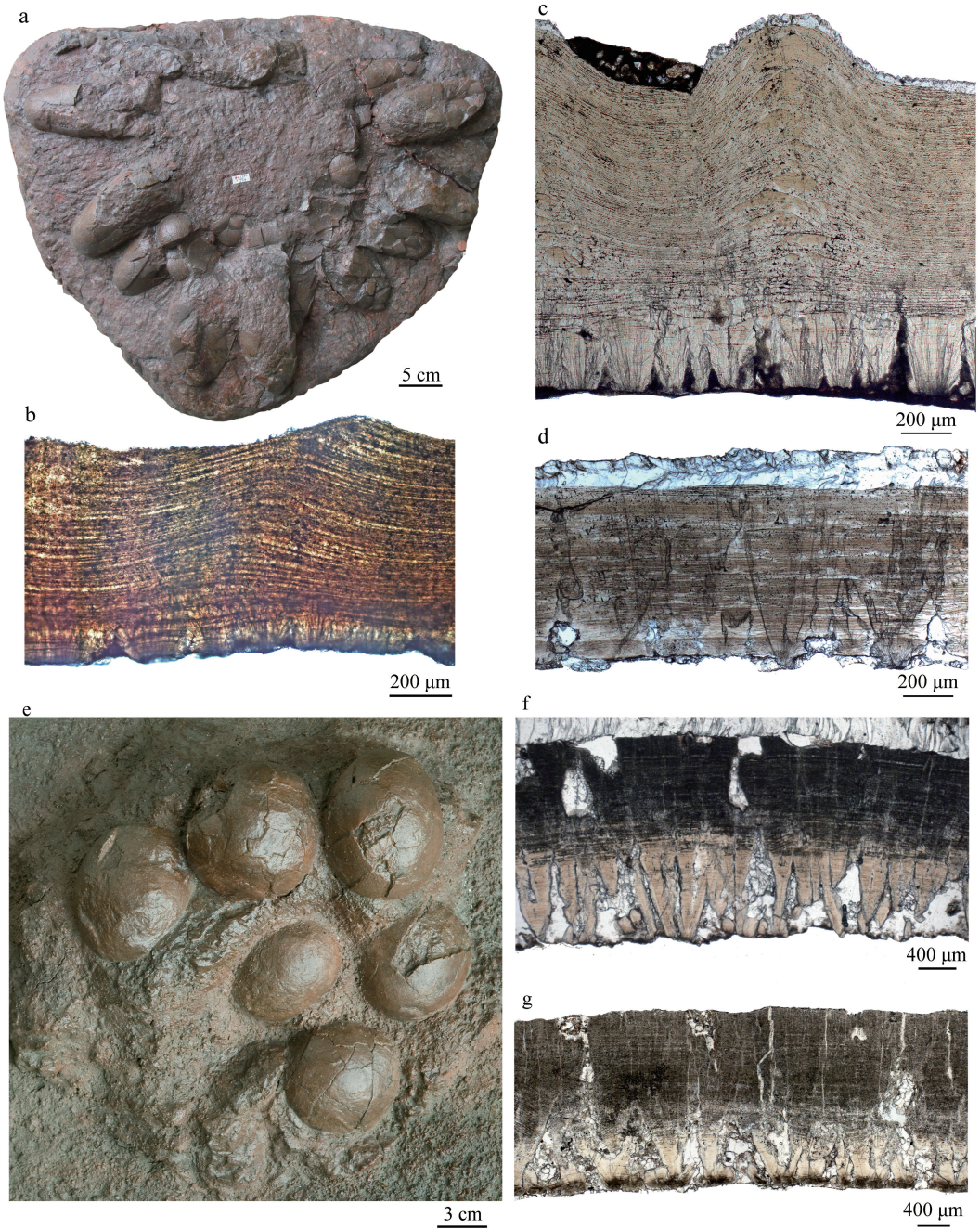
杨钟健^[8]在记述莱阳王氏群发现的恐龙蛋时,将那些形状为圆形和椭圆形的蛋化石命名为短圆蛋,而且根据与其共生的恐龙骨骼化石,认为莱阳发现的这些圆形蛋应为鸭嘴龙类的蛋,与此同时,周明镇^[9]也进一步证明圆形蛋的蛋壳显微结构与 Straelen^[14]描述的内蒙二连浩特的标本非常相似。赵资奎等^[10]根据蛋壳的显微结构特征,进一步将短圆蛋分为将军顶蛋(*Oolithes chiangchungtingensis*)、厚皮蛋(*Oolithes megadermus*)、二连蛋(*Oolithes irenensis*)、金刚口蛋(*Oolithes chinkangkouensis*)和薄皮蛋(*Oolithes laminadermus*)。1979年,赵资奎^[15]对莱阳发现的圆形蛋类重新订正,建立圆形蛋科(*Spheroolithidae*),包括圆形蛋属(*Spheroolithus*)、副圆形蛋属(*Paraspheroolithus*)和椭圆形蛋属(*Ovaloolithus*)共 3 个蛋属,相应地将以上 5 蛋种分别修订为将军顶圆形蛋(*S. chiangchungtingensis*)、厚皮圆形蛋(*S. megadermus*)、二连副圆形蛋(*Paraspheroolithus irenensis*)、金刚口椭圆形蛋(*Ovaloolithus chinkangkouensis*)和薄皮椭圆形蛋(*O. laminadermus*)。Mikhailov^[16]认为椭圆形蛋属的蛋壳中排列紧密的壳单元和裂隙状的气孔道等特征,与圆形蛋属和副圆形蛋属的差别很大,应从圆形蛋科中分离出来,建立了椭圆形蛋科(*Ovaloolithidae*)。

圆形蛋属是赵资奎^[15]根据莱阳王氏群将军顶组短圆蛋的标本建立的,杨钟健^[8]建立短圆蛋时以 IVPP V730 为“主型”,并将 IVPP V731、V732、V733、V735、V736 和 V737 作为“归入标本”。赵资奎等^[10]

在建立将军顶蛋时,只是将 IVPP V730、V731 和后来在将军顶发现的 IVPP RV74002 蛋化石列为“属于这类蛋的标本”,以上研究都没有指定正模,并且短圆蛋的其他标本已分别归入了不同的恐龙蛋种属。为了更好地进行恐龙蛋类型的对比,遵循命名优先律原则,赵资奎等^[17]根据蛋壳显微结构上的差异,把将军顶圆形蛋修订为圆形圆形蛋(*S. spheroides*)和将军顶圆形蛋(*S. chiangchungtingensis*),分别指定 IVPP V730 (图 1e, f) 和 IVPP RV74002 (图 1g) 为二者的正模。厚皮圆形蛋最初只发现了一枚较大的蛋壳碎片,依据其极大的蛋壳厚度和蛋壳径切面的显微结构归入圆形蛋属^[10,15]。最新的研究^[18]发现厚皮圆形蛋的蛋壳弦切面具有大致平行并且呈波浪状的裂隙,认为应该将其归入东阳蛋科(*Dongyangoolithidae*)的多裂隙蛋属(*Multifissoolithus*),修订为厚皮多裂隙蛋(*M. megadermus*)。至此,莱阳发现的圆形蛋类修订为圆形蛋科 2 属 3 种,东阳蛋科 1 属 1 种。

2.3 椭圆形蛋科

椭圆形蛋科是一类宏观形态呈椭圆形的恐龙蛋,只包含椭圆形蛋属(*Ovaloolithus*)。最早发现于莱阳,赵资奎等^[10]命名了金刚口蛋(*Oolithes chinkangkouensis*)和薄皮蛋(*Oolithes laminadermus*),根据蛋壳径切面上间歇线的分布情况进一步将金刚口蛋分为 A、B、C 和 D 等 4 组。赵资奎^[15]建立椭圆形蛋属,将金刚口蛋 A、B、C、D 等 4 组独立为 4 个蛋种,分别为金刚口椭圆形蛋(*O. chinkangkouensis*)、三条纹椭圆形蛋(*O. tristriatus*)、混杂纹椭圆形蛋(*O. mixtistriatus*)和单纹椭圆形蛋(*O. monostriatus*),将薄皮蛋修订为薄皮椭圆形蛋(*O. laminadermus*)。近年来,随着在莱阳及其周边发现更多的椭圆形蛋壳,大量的切片表明椭圆形蛋类蛋壳径切面柱状层中的刷子状结构不同于已知的恐龙蛋类,进一步的研究认为:金刚口椭圆形蛋柱状层可分为三段,内段晶体刷子状结构倾斜角度大,中段生长线弯曲,分布大量竹叶状结构,外段晶体刷子状结构倾斜角度减小(图 2a);薄皮椭圆形蛋柱状层不分段,刷子状结构沿大角度倾斜延伸至蛋壳近外表面(图 2b)。这两类均为有效蛋种。此外,三条纹椭圆形蛋可归入金刚口椭圆形蛋,单纹椭圆形蛋可归入薄皮椭圆形蛋。混杂纹?椭圆形蛋(图 2c)部分显示金刚口椭圆形蛋的特征,但是蛋壳中出现的黑色部分失去蛋壳正常的显微结构,其可能是病态结构或经过后期成岩改造,不能作



a. 长形长形蛋蛋窝(IVPP V734); b. 长形长形蛋蛋壳径切面; c. 瑶屯巨型蛋蛋壳径切面; d. 主田南雄蛋蛋壳径切面; e. 圆形圆形蛋蛋窝(IVPP V730); f. 圆形圆形蛋蛋壳径切面; g. 将军顶圆形蛋蛋壳径切面(IVPP RV74002)。

图 1 莱阳恐龙蛋化石群的主要类型 (I)

Fig.1 Main types of Laiyang dinosaur egg fauna (I)

为分类的依据,其有效性存疑^[19]。至此,莱阳发现椭圆形蛋科仅有 1 属 2 种,1 存疑种。

2.4 棱柱形蛋科

棱柱形蛋科(Prismatoolithidae)是一类比较特殊的蛋化石类型,根据蛋中所含胚胎的研究认为其产蛋母体为伤齿龙类。莱阳发现的棱柱形蛋类相对

较少,近年来在将军顶发现了半枚棱柱形蛋,根据其蛋壳外表面光滑无纹饰、蛋壳较薄、紧密排列的棱柱状壳单元、壳单元边缘由致密的方解石组成、气孔较少,以及气孔呈圆形或椭圆形等特征,将其归入到棱柱形蛋科,建立梨乡莱阳蛋(*Laiyangoolithus lixiangensis*)(图 2 d, e)^[20]。除了将军顶发现的这

半枚棱柱形蛋类之外,在金刚口组也发现有少量的棱柱形类的蛋壳,显示棱柱形蛋类分布于王氏群的中上部。

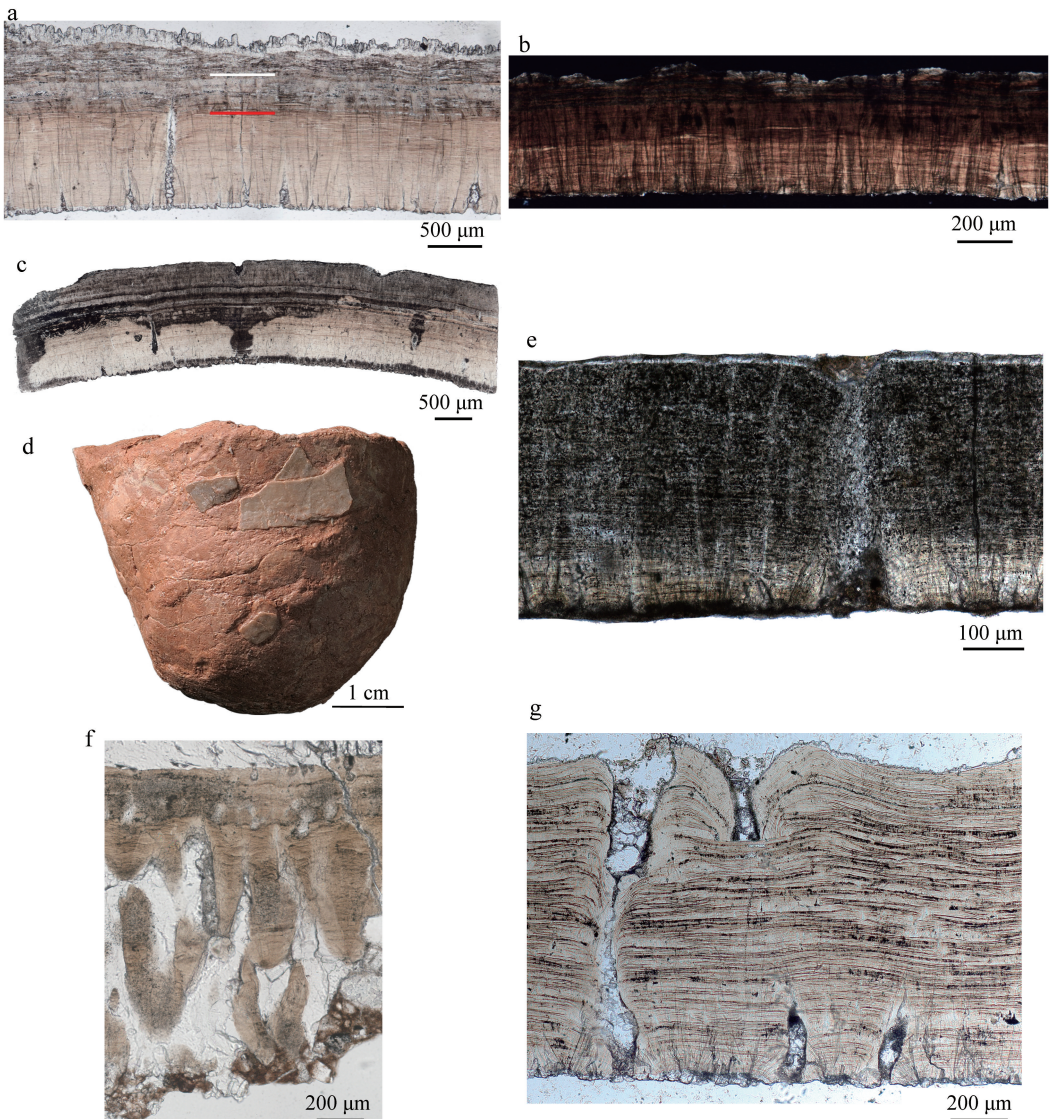
2.5 网形蛋科

网形蛋科(Dictyooolithidae)从蛋壳径切面上看,壳单元构架成网状的组织结构。刘金远等^[21]记述了发现于莱阳的网形蛋类,建立蒋氏网形蛋(*Dictyooolithus jiangi*)。Wang 等^[22]对网形蛋类的分类进行了修订,根据壳单元叠加的层次及其在蛋壳外表面融合与否,进一步分为网形蛋属(*Dictyooolithus*)、原网形蛋属(*Protodictyooolithus*)

和拟网形蛋属(*Paradictyooolithus*)共 3 个蛋属,将莱阳发现的蒋氏网形蛋修订为蒋氏原网形蛋(*P. jiangi*)(图 2 f)。

2.6 科未定

除了以上的恐龙蛋类型和属种之外,近年来在金刚口组采集的恐龙蛋壳中还发现有坪岭叠层蛋(*Stromatoolithus pinglingensis*)^[23](图 2 g)。坪岭叠层蛋最早发现于广东南雄盆地,曾被归入大圆蛋科(Megaloolithidae)。根据蛋壳外表纹饰和显微结构对比,发现将其置于大圆蛋科并不合适,同时由于研究材料尚不充分,认为坪岭叠层蛋暂不能归入任



a. 金刚口椭圆形蛋蛋壳径切面; b. 薄皮椭圆形蛋蛋壳径切面; c. 混杂纹椭圆形蛋蛋壳径切面; d. 梨乡莱阳蛋尖端部分; e. 梨乡莱阳蛋蛋壳径切面; f. 蒋氏原网形蛋蛋壳径切面; g. 坪岭叠层蛋蛋壳径切面。

图 2 莱阳恐龙蛋化石群主要类型(II)

Fig.2 Main types of Laiyang dinosaur egg fauna (II)

何已知蛋科。此外,通过与国内外发现的圆形蛋类的蛋壳进行比较,发现其与北美慈母龙蛋的蛋壳结构较为相似,推测其母体可能属于鸭嘴龙类恐龙^[23]。

3 莱阳恐龙蛋化石群与其他蛋化石群对比

Wang 等^[24]最早提出了根据恐龙蛋组合建立我国晚白垩世陆相地层框架。随着研究的深入,与研究相对较高的天台恐龙蛋化石群、西峡恐龙蛋化石群和南雄恐龙蛋化石群相比,除了普遍存在的长形蛋科和棱柱形蛋科之外,莱阳恐龙蛋化石群组合多样性更加的明显(表 1)。网形蛋类和蜂窝蛋类被认为属于晚白垩世早期的恐龙蛋类型,大量发现于浙江天台盆地和河南西峡盆地,莱阳仅在将军顶组发现蒋氏原网形蛋。虽然莱阳尚未发现石笋蛋科的成员,但是二连副圆形蛋被认为与这一蛋科的珊瑚蛋属具有较高的相似性^[17]。相比而言,除了将军顶组的网形蛋类和圆形蛋类之外,莱阳恐龙蛋化石群与南雄恐龙蛋化石群的组合有着非常高的属种相似性,而与天台恐龙蛋化石群和西峡恐龙蛋化石群有着较为明显的差异。

表 1 我国主要恐龙蛋化石群恐龙蛋类型对比

Table1 Comparison of assemblages from different dinosaur egg fauna in China

| 蛋科 | 莱阳恐龙蛋化石群 | 天台恐龙蛋化石群 | 西峡恐龙蛋化石群 | 南雄恐龙蛋化石群 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|
| 巨型长形蛋科 | — | ● | ● | — |
| 长形蛋科 | ● | ● | ● | ● |
| 棱柱形蛋科 | ● | ● | ● | ● |
| 石笋蛋科 | — | ● | ● | ● |
| 圆形蛋科 | ● | — | — | — |
| 东阳蛋科 | ● | — | — | — |
| 椭圆形蛋科 | ● | — | — | ● |
| 网形蛋科 | ● | ● | ● | — |
| 蜂窝蛋科 | — | ● | ● | — |
| 树枝蛋科 | — | — | ● | — |
| 科未定 (叠层蛋类) | ● | — | — | ● |

注:据文献^[24]修订。●表示存在;—表示缺失。

莱阳恐龙蛋化石群中几种具有代表性的属种地层学意义更加凸显(表 2),将军顶组大量发现的圆

形蛋类,目前仅在山东莱阳和辽宁昌图有所发现,昌图恐龙蛋发现于上白垩统泉头组,结合网形蛋类有理由相信,将军顶组的地质时代与泉头组相当,为赛诺曼期(Cenomanian)—土伦期(Turonian)^[25]。金刚口组中,除了长形蛋类和棱柱形蛋类之外,莱阳最早发现的椭圆形蛋类和近年来发现的坪岭叠层蛋可以很好地与南雄恐龙蛋化石群上部的组合进行对比,这一组合也发现于陕西山阳^[26]。南雄恐龙化石群上部的恐龙蛋组合和陕西山阳恐龙蛋组合的地质时代应属于坎潘期(Campanian) — 马斯特里赫特期(Maastrichtian)^[24]。

表 2 莱阳恐龙蛋化石群组合

Table 2 Assamblage of the Laiyang dinosaur egg fauna

| 层位 | 蛋化石类型 |
|--|--|
| 金刚口组 | 长形蛋科 Elongatoolithidae |
| | 长形长形蛋 <i>Elongatoolithus elongatus</i> |
| | 瑶屯巨型蛋 <i>Macroolithus yaotunensis</i> |
| | 主田南雄蛋 <i>Nanhsiungoolithus chuetienensis</i> |
| | 圆形蛋科 Spheroolithidae |
| 二连副圆形蛋 <i>Paraspheroolithus irenensis</i> | |
| 王 氏 群 | 椭圆形蛋科 Ovaloolithidae |
| | 金刚口椭圆形蛋 <i>Ocalolithus chinkangkouensis</i> |
| | 薄皮椭圆形蛋 <i>O. laminadermus</i> |
| | ? 混杂纹椭圆形蛋 <i>O. ? mixtistriatus</i> |
| 将军顶组 | 棱柱形蛋科 Prismatoolithidae |
| | 属种未定 indet. |
| | 科未定 |
| | 坪岭叠层蛋(<i>Stromatoolithus pinglingensis</i>) |
| | 长形蛋科 Elongatoolithidae |
| | 长形长形蛋 <i>Elongatoolithus elongatus</i> |
| | 圆形蛋科 Spheroolithidae |
| | 将军顶圆形蛋 <i>Spheroolithus Chiangchungtingensis</i> |
| | 圆形圆形蛋 <i>S. spheroides</i> |
| | 二连副圆形蛋 <i>Paraspheroolithus irenensis</i> |
| 东阳蛋科 Dongyangoolithidae | |
| 厚皮多裂隙蛋 <i>Multi fissorolithus megadermus</i> | |
| 王 氏 群 | 棱柱形蛋科 Prismatoolithidae |
| | 梨乡莱阳蛋 <i>Laiyangoolithus lixiangensis</i> |
| | 网形蛋科 Dictyoolithidae |
| | 蒋氏原网形蛋 <i>Protodictyoolithus jiangi</i> |

注:据文献^[24]修订。

我们也注意到将军顶组与金刚口组恐龙蛋组成发生了较大的变化,下部将军顶组的多气孔类型的网形蛋类和圆形蛋类消失,取而代之的是上部金刚口组的蛋壳结构更为紧密的椭圆形蛋类,表明晚白

垩世中—晚期鲁东地区气候环境的变化可能是造成恐龙蛋多样性变化的主要因素^[12]。

4 结论

1) 莱阳白垩纪地层赋存有大量的恐龙、恐龙蛋、翼龙、植物和昆虫等古生物化石,是我国非常重要的古生物产地。莱阳恐龙蛋化石群赋存在上白垩统王氏群的河湖相沉积中,近年来恐龙蛋新材料的发现和研究,将莱阳恐龙蛋组成由之前的 4 科 5 属 11 种,修订为 6 科 10 属 12 种和 1 未定科及 1 个存疑种。

2) 通过与国内其他几个重要的恐龙蛋化石群对比,莱阳恐龙蛋类型多样、组合特征鲜明,是晚白垩世恐龙蛋组合的典型代表。这一恐龙蛋组合也很好反映了晚白垩世莱阳较高的恐龙多样性,对进一步探讨晚白垩世胶莱盆地的古地理和古环境具有重要的意义。

参考文献(References):

- [1] 谭锡畴. 山东中生代及其第三纪地层[J]. 地质专报, 1923, 5(2): 55-79.
Tan Xichou. New Research on the Mesozoic and Early Tertiary Geology in Shantung [J]. Bulletin of the Geological Survey of China, 1923, 5(2): 55-79.
- [2] Chow M C. Notes on the Late Cretaceous Dinosaurian Remains and the Fossil Eggs from Laiyang Shantung [J]. Bulletin of the Geological Society of China, 1951, 31(1/2/3/4): 89-96.
- [3] 杨钟健. 山东莱阳恐龙化石[M]. 北京: 科学出版社, 1958: 1-138.
Young Chungchien. The Dinosaurian Remains of Laiyang, Shantung [J]. Beijing: Science Press, 1958: 1-138.
- [4] Grabau A W. Cretaceous Fossils from Shantung [J]. Bulletin of the Geological Survey of China, 1923, 5(2): 143-181.
- [5] Chow T C. A Preliminary Note on Some Younger Mesozoic Plants Fossils from Shantung [J]. Bulletin of the Geological Survey of China, 1923, 5(2): 136-141.
- [6] 汪筱林, 王强, 王建华, 等. 山东莱阳白垩纪恐龙和恐龙蛋化石的发现与研究[C]//董为. 第十二届中国古脊椎动物学学术年会论文集. 北京: 海洋出版社, 2010: 293-306.
Wang Xiaolin, Wang Qiang, Wang Jianhua, et al. An Overview on the Cretaceous Dinosaurs and Their Eggs from Laiyang, Shandong Province, China [C]//Dong Wei. Proceedings of the Twelfth Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology. Beijing: China Ocean Press, 2010: 293-306.
- [7] 刘东生. 山东莱阳恐龙及蛋化石发现的经过[J]. 科学通报, 1951, 2(11): 1157-1162.
Liu Tungsheng. Discovery Process of Dinosaur and Egg Fossils in Shandong, Laiyang [J]. Chinese Science Bulletin, 1951, 2(11): 1157-1162.
- [8] 杨钟健. 山东莱阳蛋化石[J]. 古生物学报, 1954, 2(4): 371-388.
Young Chungchien. Fossil Eggs from Laiyang, Shantung, China [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1954 2(4): 371-388.
- [9] 周明镇. 山东莱阳化石蛋壳的微细结构[J]. 古生物学报, 1954, 2(4): 389-394.
Chow Minchen. Additional Notes on the Microstructure of the Supposed Dinosaurian Eggshells from Laiyang, Shantung [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1954 2(4): 389-394.
- [10] 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, 1974, 17(1): 63-72.
Zhao Zikui, Jiang Yuankai. Microscopic Studies on the Dinosaurian Eggshells from Laiyang, Shandong Province [J]. Scientia Sinica, 1974, 17(1): 73-90.
- [11] 赵资奎. 广东南雄恐龙蛋化石的显微结构(一): 兼论恐龙蛋化石的分类问题[J]. 古脊椎动物学报, 1975, 13(2): 105-117.
Zhao Zikui. The Microstructure of Dinosaurian Eggshells of Nanhsiung Basin, Guangdong Province: On the Classification of Dinosaur Eggs [J]. Vertebrata Palasiatica, 1975, 13(2): 105-117.
- [12] Zhao Z K, Zhang S K, Wang Q, et al. Dinosaur Diversity During the Transition Between the Middle and Late Parts of the Late Cretaceous in Eastern Shandong Province, China: Evidence from Dinosaur Eggshells [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58: 4663-4669.
- [13] 胡承志, 程政伍, 庞其清, 等. 巨型山东龙[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 1-216.
Hu Chengzhi, Cheng Zhengwu, Pang Qiqing, et al. *Shantungosaurus giganteus* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 1-216.
- [14] Straelen Victor Van. The Microstructure of the Dinosaurian Egg-Shells from the Cretaceous Beds of Mongolia [J]. American Museum Novitates, 1925, 173: 1-4.

- [15] 赵资奎. 我国恐龙蛋化石研究的进展[C]//中国科学院古脊椎动物与古人类研究所南京与地质古生物研究所编. 华南中、新生代红层:广东南雄“华南白垩纪—早第三纪红层现场会议”论文选集.北京:地质出版社, 1979:330-340.
Zhao Zikui. The Advancement of Research on the Dinosaurian Eggs in China [C]//IVPP, NIGP. Mesozoic and Cenozoic Redbeds in Southern China: Selected Papers of the “South China Cretaceous-Early Tertiary Red Bed Field Conference” Nanxiang, Guangdong. Beijing: Geological Publishing House, 1979: 330-340.
- [16] Mikhailov K E. Classification of Fossil Eggshells of Amniotic Vertebrates [J]. *Palaeontology*, 1991, 36 (2):193-238.
- [17] 赵资奎, 王强, 张蜀康. 中国古脊椎动物志:第二卷:两栖类 爬行类 鸟类 第七册 恐龙蛋类[M].北京:科学出版社, 2015:1-168.
Zhao Zikui, Wang Qiang, Zhang Shukang. *Palaeovertebrata Sinica, Vol II: Amphibians, Reptilians, and Avians, Fascicle 7 Dinosaur Eggs* [M]. Beijing: Science Press, 2015:1-168.
- [18] Zhang S K. A Revision of the Eggshell Fragment of *Spheroolithus megadermus* from Laiyang, Shandong Province, China[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 2022, 60 (1): 59-68.
- [19] 周明笑. 中国椭圆形蛋类分类研究[D].北京:中国科学院大学, 2023: 1-88.
Zhou Mingxiao. *Taxonomy of Ovaloolithidae from China*[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2023:1-88.
- [20] Wang Q, Li Y G, Zhu X F, et al. New Ootype Prismatoolithids from the Late Cretaceous, Laiyang Basin and Its Significance[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 2018, 60(1): 59-68.
- [21] 刘金远, 赵资奎. 山东莱阳晚白垩世恐龙蛋化石一新类型[J]. *古脊椎动物学报*, 2004, 42(2): 166-170.
Liu Jinyuan, Zhao Zikui. A New Oospecies of the Dinosaur Eggs (*Dictyoolithus*) from Laiyang, Shandong Province[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 2004, 42(2): 166-170.
- [22] Wang Q, Zhao Z K, Wang X L, et al. New Forms of Dictyoolithids from the Tiantai Basin, Zhejiang Province of China and a Parataxonomic Revision of the Dictyoolithids[J]. *Vertebrata Palasiatica*, 2013, 51(1): 43-54.
- [23] Zhu X F, Wang Q, Wang X L. Restudy of the Original and New Materials of *Stromatoolithus pinglingensis* and Discussion on Some Spheroolithidae Eggs [J/OL]. *Historical Biology*, 2021. <https://doi.org/10.1080/08912963.2021.1910817>.
- [24] 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.
- [25] He H, Deng C L, Wang P J, et al. Toward Age Determination of the Termination of the Cretaceous Normal Superchron [J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2012, 13: Q02002. doi: 10.1029/2011GC003901.
- [26] Han F, Wang Q, Wang H P, et al. Low Dinosaur Biodiversity in Central China 2 Million Years Prior to the End-Cretaceous Mass Extinction [J]. *PNAS*, 2022, 119(39): e2211234119.