

山东莱阳晚白垩世鸭嘴龙动物群化石特异埋藏初步研究

张嘉良^{1,2)} 王强¹⁾ 蒋顺兴¹⁾ 程心¹⁾ 李宁¹⁾ 张鑫俊^{1,2)} 裘锐^{1,2)} 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 北京 100049, wangxiaolin@ivpp.ac.cn

摘要 近年来对位于莱阳棘鼻青岛龙发现地点(1号化石地点)以东新发现的2号化石地点进行大规模发掘,已发现5个化石富集层,赋存的化石均以鸭嘴龙科为主,一部分个体可能代表栉龙亚科的成员,而另一部分个体归于赖氏龙亚科的棘鼻青岛龙。这些鸭嘴龙化石从个体大小上分别代表成年、亚成年和幼年晚期个体。化石富集层以灰绿色和褐红色含砂砾泥岩沉积为主,具有典型的泥石流沉积特征和骨骼埋藏特征,并具有两种主要的死亡和埋藏模式,即恐龙群体活着时遭遇泥石流被吞没集群死亡后,肢体在短距离搬运中被撕裂并迅速沉积掩埋,骨骼分散但完整,同一个体的骨骼相距不远;恐龙正常或经泥石流导致其非正常死亡后,部分遗体未被掩埋,经暴露软组织腐烂,被后续发生的泥石流卷入并二次搬运,最终埋藏,表现为分散但较完整的骨骼与破碎呈砾石磨圆状的骨骼共生保存。这些富集层的化石及其埋藏特征反映了生活在河湖边的鸭嘴龙动物群,在鸭嘴龙幼年晚期刚刚加入成年鸭嘴龙动物群后,被卷入突发的洪水泥石流导致其集群死亡并快速埋藏的事件。

关键词 鸭嘴龙科 特异埋藏 王氏群 晚白垩世 山东莱阳

1 引言

莱阳晚白垩世恐龙和恐龙蛋等古生物化石的发现和有着悠久的历史,是我国地质古生物学者最早发现恐龙、恐龙蛋、翼龙、昆虫和植物化石的地方(汪筱林等,2010)。莱阳首次古生物化石重大发现最早可以追溯到20世纪20年代,谭锡畴(1923)在莱阳将军顶的上白垩统王氏群中发现了一些鸭嘴龙类化石,后经Wiman(1929)研究将其命名为中国谭氏龙(*Tanius sinensis*)。莱阳第二次古生物化石的重大发现是20世纪50年代初,杨钟健带领中国科学院古脊椎动物与古人类研究所考察队在莱阳进行了较大规模考察与发掘(刘东生,1951;杨钟健,1958;Chow,1951),其中在金岗口发现了新中国第一条恐龙骨架——棘鼻青岛龙(*Tsintaosaurus spinorhinus*)及金刚口谭氏龙(*Tanius chingkankouensis*)等鸭嘴龙类为主的大量脊椎动物和恐龙蛋化石(周明镇,1954a;杨钟健,1954,1958),同时还首次报道了翼龙化石(杨钟健,1958)。此后的几十年间,在莱阳一直未进行过大规模恐龙考察与发掘,但亦有

零星的恐龙化石被发现或重新研究(甄朔南,1976;董枝明,1978;Buffetaut and Tong,1995)。目前上白垩统王氏群中发现的恐龙及其他爬行动物化石共5大类8属9种,组成了莱阳鸭嘴龙动物群(汪筱林等,2010)。此外,在这一地层中还报道了包括长形蛋类、圆形蛋类、椭圆形蛋类和网形蛋类等4个蛋科,5个蛋属和11个蛋种的恐龙蛋化石(汪筱林等,2010),以及近年来我们发现和正在研究的棱柱形蛋类、大圆形蛋类等,组成了莱阳恐龙蛋化石群,成为我国晚白垩世四个主要的恐龙蛋化石群之一(汪筱林等,2010;Wang *et al.*,2012)。这种恐龙与恐龙蛋共生富集的现象,在全国乃至全世界都十分罕见,对了解恐龙的产蛋生殖行为以及恐龙与恐龙蛋的对应关系有着重要的意义。

莱阳第三次古生物化石重大发现是从2008年开始,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所与莱阳市政府合作,在莱阳进行了新一轮的野外考察与化石发掘工作,并对莱阳金岗口附近的2个化石地点进行了大规模发掘和遗址保护,发现了大量以鸭嘴龙为主的脊椎动物、恐龙蛋和龟类蛋等化石(汪筱林等,2010;Wang *et al.*,2012)。其中1号地点为

收稿日期:2017-04-06

上世纪 50 年代杨钟健等发现棘鼻青岛龙的地点,位于金岗口村西沟,新发现了莱阳水龟蛋(*Emydolithus laiyangensis*)(Wang Q *et al.*, 2013); 2 号地点位于金岗口村东,为 2000 年新发现的一化石地点,位于 1 号地点以东约 1 km 处(插图 1)。2 号地点自 2010 年连续发掘以来,已经确定了多个化石富集层位,近年来在对其中 5 个连续的化石富集层进行暴露和发掘的过程中,发现了大量的恐龙化石,其中绝大多数为鸭嘴龙类,包括栉龙亚科及棘鼻青岛龙等的新材料(张嘉良, 2013; 张嘉良、汪筱林, 2012; Zhang *et al.*, 2017), 少量兽脚类的骨骼和牙齿、孤立的鳄鱼牙齿、完整的龟类和恐龙蛋壳等,以及腹足类、双壳类等无脊椎动物和大量植物碎屑,形成了十分壮观的恐龙动物群化石特异埋藏现象。本文在莱阳 2 号地点化石发掘原始资料的基础上,将重点讨论化石特异埋藏特征,总结其埋藏规律,并分析鸭嘴龙动物群集群死亡事件的原因。

2 地质背景

莱阳位于胶东半岛中部,属于胶莱(莱诸)盆地,中生代地层尤其白垩系地层非常发育,出露连续且相对完整,包括下白垩统莱阳群、青山群和上白垩统王氏群(插图 1),地质时代大约从 1.3 亿年前—7 000 万年前(Wang *et al.*, 2012)。其中莱阳群以灰色、灰绿色页岩等湖泊沉积为主,青山群为一套厚度巨大的火山—沉积地层。莱阳群和青山群中已发现的化石类群主要有植物(周赞恒, 1923)、昆虫及叶肢介等无脊椎动物(Grabau, 1923)、鸚鵡嘴龙(杨钟健, 1958; 赵喜进, 1962)、翼龙(杨钟健, 1958; Zhou, 2010)、北山龟(*Peishanemys latipons*)(周明镇, 1954b)和恐龙足迹化石(李日辉、张光威, 2001; Young, 1960)等,这些化石与热河生物群的化石组合非常相似(汪筱林, 2010)。

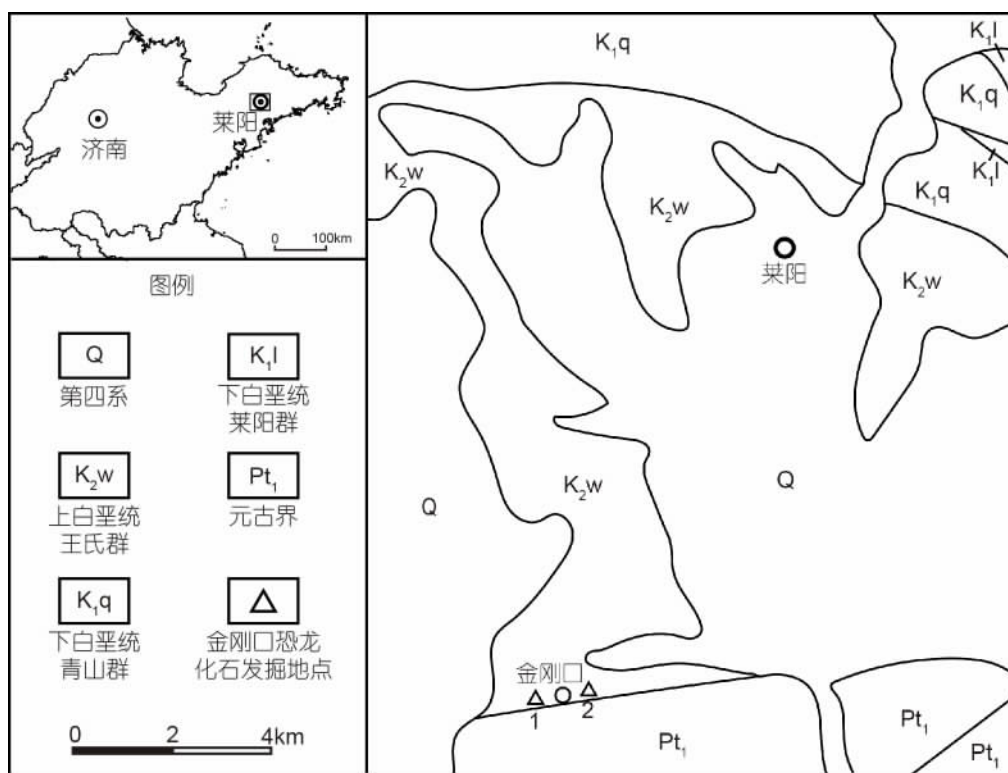


插图 1 莱阳地质简图

Schematic geologic map showing the dinosaur excavation localities and regional geology in Laiyang, Shandong Province

1. 1 号化石地点(棘鼻青岛龙地点), 2. 2 号化石地点。

1. Locality 1 of the *Tsintaosaurus spinorhinus* holotype, 2. New dinosaur excavation locality, Locality 2.

莱阳地区的上白垩统王氏群地层分布于莱阳近郊的文笔峰、天桥屯、将军顶和金岗口等地,是一套主要由褐红色、灰绿色粉砂岩、泥岩夹灰绿色、灰白色砂砾岩、粉砂岩等组成的河湖相沉积地层,由下到

上依次为:辛格庄组、将军顶组和金刚口组(胡程志等, 2001),蕴藏着大量以鸭嘴龙为代表的脊椎动物化石和恐龙蛋化石等,组成了晚白垩世莱阳鸭嘴龙动物群和恐龙蛋化石群。闫峻和陈江峰(2005)通过

对胶州大西庄的红土崖组(大致相当于莱阳的将军顶组和金刚口组)上部的玄武岩进行 ^{40}Ar - ^{39}Ar 测年,得到其同位素年龄为 73 Ma,属于晚白垩世坎帕期(Campanian)。莱阳金岗口的两个化石发掘地点均位于金刚口组,其中 2 号地点层位略高于 1 号地点。

3 2 号地点化石富集层特异埋藏特征

2 号化石地点的发掘过程大致分为两个阶段,2010 年至 2012 年发掘和保护的重点为 2 号地点西

侧区域,这也是该地点最早发现化石的区域。在此期间,也对 1 号地点进行了初步发掘和保护,以厘定棘鼻青岛龙化石地点的准确位置。此后为了配合莱阳白垩纪国家地质公园的申报和建设,这两区域被莱阳市政府作为发掘遗址进行保护,并在其上建立了莱阳 1 号和 2 号恐龙遗址馆。自 2013 年开始,发掘的重点转移到 2 号遗址馆东侧低洼多水区域,并相继对 5 个连续的化石富集层进行了依次暴露和发掘,自上而下将其命名为第 1—5 化石富集层(插图 2,3)。



插图 2 莱阳 2 号发掘地点(显示已发掘的 5 个化石层)

Locality 2 of Laiyang showing the five excavated fossil-bearing layers

发掘剖面长度约 63 m。

The length of the excavation section is about 63 m.

3.1 2 号地点发掘剖面

2 号地点发掘剖面位于 2 号遗址馆东侧,是 2013 年之后的重点发掘区域。剖面呈南北向展布,剖面全长约 63 m,真厚度约 25 m。由于 2 号地点化石的发掘工作是从上部化石层开始并逐步向下部化石层展开的,并且向下还应有多个化石富集层,发掘工作还将继续进行,因此为便于今后的发掘和研究工作,本文中发掘剖面 and 化石富集层自上至下编号并简述如下(插图 2,3):

金刚口组 未见顶(上覆地层为灰绿色泥岩)

1. 灰绿色泥岩、粉砂质泥岩 5.0 m
2. 灰白色钙质泥岩与灰绿色泥岩互层。灰白色层共三层,上部两层较薄,下部一层较厚 2.5—3.3 m
3. 底部为灰白色含碎屑状恐龙骨骼的砾岩,下部为灰绿色粉砂质泥岩,含有大量以恐龙为主的脊椎动物化石,骨骼自下而上分别为完整的、完整与破碎杂乱堆积的和破碎为砾石状的三种保存类型;中部为灰黑色泥岩,含有一些孤立的鸭嘴龙和兽脚类等恐龙牙齿、破碎骨骼及植物碎屑和无脊椎动物化石;上部为灰绿色泥岩、粉砂质泥岩,不含化石。该层在发掘剖面上发育一正断层,断距 2—3 m,将这一化石富集层分为第

- 1、2 两个化石层。主要产出鸭嘴龙类(赖氏龙亚科的棘鼻青岛龙和栉龙亚科的成员)化石,少量兽脚类恐龙、龟类和鳄类等脊椎动物、恐龙蛋化石,以及水生无脊椎动物和植物碎屑化石 2.4 m
- 4. 灰绿色泥岩,向上部渐变为红色泥岩 2.5 m
- 5. 砖红色泥岩,第 3 化石富集层,主要产出鸭嘴龙类(赖氏龙亚科的棘鼻青岛龙和栉龙亚科成员)化石,以及少量兽脚类恐龙、龟类和恐龙蛋化石 1.6 m
- 6. 灰白色含砾砂岩、砾岩。下部砾石具正粒序,上部具平行层理 1.3 m
- 7. 下部砖红色泥岩中含有以恐龙为主的脊椎动物化石,为第 4 化石富集层,主要产出甲龙类、兽脚类和鸭嘴龙类化石;上部砖红色泥岩夹有多个很薄的灰白色钙质泥岩层,不含化石 3.0 m
- 8. 灰白色、灰色钙质粉砂质泥岩 0.2 m
- 9. 下部砖红色泥岩,为第 5 化石层,含有完整的龟

- 类化石;上部砖红色泥岩,夹有多条灰白色钙质条带,不含化石 3.4 m
- 10. 灰白色含砾砂岩,横向厚度不稳定,呈透镜层 0.3—1.0 m
- 11. 砖红色泥岩 1.5 m
- 12. 灰白色砂砾岩 1.0 m
- 13. 砖红色泥岩 1.0 m
- 未见底(下伏地层为红色泥岩)

发掘剖面可以明显分为上下两部分,上部分(1—3 层)以灰绿色、灰黑色等深色沉积为主,而下部分(4—13 层)主要以灰白、红色等浅色沉积为主,结合发掘剖面上覆和下伏地层,反应其上部和下部地层所代表的气候环境发生了明显变化(插图 2, 3)。此外,剖面具有旋回性,每一旋回的下部一般为灰白色砂砾岩,中上部为红色或灰绿色粉砂质泥岩。

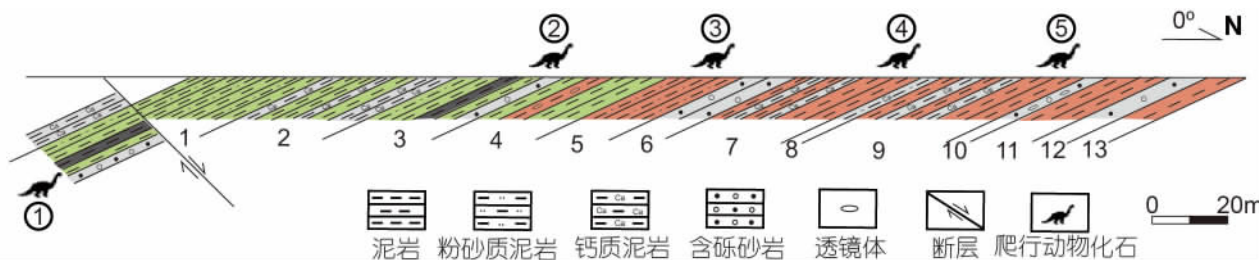


插图 3 莱阳 2 号化石地点发掘剖面
Excavation section at Locality 2 of Laiyang

3.2 第 1、2 化石层埋藏特征

第 1、2 化石层事实上为同一层,是由于断层错动导致其在剖面和平面上显示为两层。此外第 2 化石层为遗址馆内的化石富集层向外的延伸,属于同一层(插图 2, 3)。这一化石富集层主要由灰绿色、灰黑色含砾砂泥岩、泥岩组成(插图 2, 3, 4B—E),其中遗址馆内为 2010—2012 年发掘和重点保护区域,暴露面积约 200 m²,富集层厚度约 1.4 m,已发现千余件化石,小者包括牙齿和骨骼碎块,大者如鸭嘴龙的股骨、胫骨和坐骨等,长轴长度可达 1.2—1.3 m。这一区域在暴露清理过程中记录并编号的所有化石(包括牙齿和破碎骨骼等)骨骼呈黑色,共 486 件,其中采集了 427 件。为配合遗址博物馆建设,目前有 59 个较大且较完整的骨骼被原地保存于化石层面之上,而大部分较小的(长度小于 5 cm)且无法辨认的化石碎块虽然采集但并未记录编号。馆内化石层由于保护的需要,沉积在下部富集层中的大而完整的骨骼几乎没有暴露,因此在总体数量上小的偏多,

在记录的编号中,这些小的共 344 块,占全部记录标本的 70%。由于遗址馆外第 1、2 化石富集层发掘较晚,发掘工作仍在进行中,还有大量化石未暴露和采集,因此,无论馆内还是馆外原始埋藏信息并不全面。

总体上这一化石层从下至上骨骼分布具有明显差异,底部有一层厚度不大的灰白色砾岩和砾石状骨骼混杂层,砾石磨圆较好,分选较差,骨骼碎片磨圆程度不一,多为二次搬运的产物,厚度不大约 20 cm;完整而个体相对较大的骨骼集中堆积在下部,主要以不同个体大小、分散但完整的鸭嘴龙骨骼(少部分骨骼完整且相互关联)和少量较完整的兽脚类恐龙骨骼为主,这些骨骼绝大多数平行层面分散保存,没有明显的定向性(插图 4D, E),并有少部分骨骼的长轴斜交或垂直层面保存,代表了高密度重力流——泥石流沉积特征(插图 4A)。中部为近于完整的骨骼和呈砾石状的骨骼碎片杂乱堆积。上部以小的破碎骨骼为主,这些化石主要包括较小的椎体,牙齿,破碎的脊椎棘突、肋骨和筋腱,以及其他无

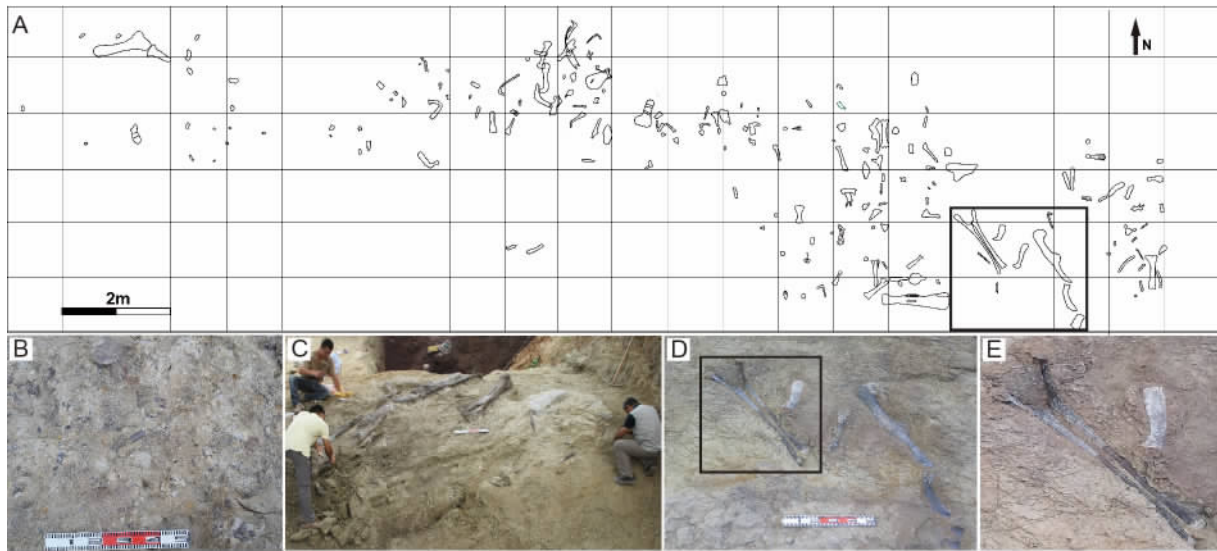


插图 4 2号地点第1、2化石层

The fossil-bearing layer 1 and 2 at Locality 2

A. 发掘遗址馆内化石富集层骨骼分布(黑色方框显示为 D 所在区域);B. 第 2 化石层上部破碎骨骼;C. 第 1 化石层完整但分散保存的鸭嘴龙和兽脚类骨骼;D. 遗址馆内鸭嘴龙化石(黑色方框显示为一对完整保存的栉龙亚科的坐骨,E 所在区域);E. 一对完整保存的栉龙亚科的坐骨(坐骨杆远端不扩展)。

A. Distribution of fossils on the exposed layer inside the on-site museum(the black frame shows the area of the fossils in D);B. upper part of the fossil-bearing layer 2(fractured bones);C. excavation of the fossil-bearing layer 1(complete but isolated hadrosaurid and theropod bones);D. complete hadrosaurid fossils in the on-site museum(the black frame shows the area of a pair of saurolophine ischia in E);E. a pair of saurolophine ischia(the distal end of the ischium shaft is not expanded).

法辨认的骨骼碎块,其中以后者居多(插图 4B)。这一主要化石富集层之上为一套灰黑色泥岩,具水平层理,其中含有大量植物碎屑并成层分布,以及鸭嘴龙、兽脚类、鳄类牙齿、龟板等细小的破碎骨骼,最上部为 3 个灰绿色泥岩与灰白色钙质泥岩形成的韵律层,几乎不含化石,这一沉积旋回代表一类水下扇(插图 2,3)。

该化石富集层主要以鸭嘴龙科成员为主,其中遗址馆内发现的鸭嘴龙化石(272 块)占有记录化石总数的 56%,为可辨认的化石总数(308 块)的 88%,而这一化石层其他类群的脊椎动物化石则发现相对较少,包括兽脚类 9 块、龟类 24 块、鳄类 3 块(表 I)。这一化石层发现的一部分鸭嘴龙个体具有明显的栉龙亚科(Saurolophinae)的特征,如上颌骨具有前背突,髁骨腹湾较浅,以及坐骨杆末端不具足状突等(Prieto-Márquez, 2008, 2010; Zhang *et al.*, 2017)。另有一部分鸭嘴龙个体具有赖氏龙亚科的特征,如肱骨三角肌嵴较长且较宽,肠骨中央板背腹向较高等特征,可归于棘鼻青岛龙(杨钟健, 1958; Prieto-Márquez, 2008, 2010; 张嘉良, 2013)。这一区域发现的鸭嘴龙科化石明显分成个体大小不同的类型,其形态相似,参照 Horner 等(2000)对慈母龙

个体发育阶段的研究,按其股骨和胫骨长度推测这几类大小不同的个体应分别属于成年、亚成年和幼年晚期个体。该化石富集中大多数较大的完整骨骼仅两端略有磨损,少数骨骼被压扁,几乎未见其他动物侵扰的抓痕和齿痕。较小骨骼破损严重,部分已被磨圆。

表 I 2号地点第 2 化石层(遗址馆内)和第 3 化石层(遗址馆外)标本统计

Composition of the fossils from the exposed layer 2 (inside the site museum) and fossil-bearing layer 3 at Laiyang Locality 2

化石层	第 2 化石层	第 3 化石层
发掘面积和标本数	(2010—2012)	(2013—2016)
发掘面积(m ²)	约 200	约 200
记录的标本数	486	1266
采集的标本数	427	1077
分类	记录的标本数	记录的标本数
鸭嘴龙类	272	1058
暂不能鉴定的恐龙骨骼	178	189
兽脚类	9	7
龟类	24	12
鳄类	3	-

3.3 第 3 化石层埋藏特征

第 3 化石层是近几年发掘的重点层位,也是产

出化石最多的富集层,采集面积约 200 m²,化石富集层厚度约 1.5—1.8 m,主要为褐红色含砂砾粉砂质泥岩(插图 2,3,5B,C),夹杂少量胃石等。这一层中产出大量鸭嘴龙为主的骨骼呈灰白色,与第 1、2 化石层骨骼呈黑色明显不同,其中记录并编号的有 1 266 件,可辨认的化石有 1 077 件,还有 189 件较大但发掘时无法辨认的化石,此外还有部分无法辨认的较小的化石碎片被采集。与此前的第 1、2 化石层类似,最大者长轴近 1.3 m。这一化石层下部为

大小不等但完整的骨骼分散保存,不过同一个体的骨骼相距很近,长轴没有明显定向,个体不同的骨骼相互叠加,杂乱堆积,还有部分骨骼斜交或垂直于层面埋藏(插图 5C),部分肢骨呈相连状态(插图 5A);而上部同样主要产出较小的椎体和其他一些较小的骨骼,以及破碎的化石,但其中破碎化石的数量较少。第 3 化石层上部小骨骼化石分布相对分散,未出现如第 1、2 化石层中上部较小的化石碎块密集堆积的状况(插图 4B)。



插图 5 2号地点第 3 化石层

The fossil-bearing layer 3 at Locality 2

A. 遗址馆外第 3 化石层化石分布(左侧黑色方框显示为 B 所在区域,右侧黑色方框显示为 C 所在区域);B. 化石发掘采集;B,C. 下部分散但完整保存的成年和幼年骨骼(C 中方框显示斜交层面的骨骼)。

A. Distribution of fossils on the exposed fossil-bearing layer 3 outside the on-site museum(the left black frame shows the area of the fossils in B,the right black frame shows the area of the fossils in C);B. the excavation and collection of fossils;B,C. the isolated but complete juvenile and adult hadrosaurid fossils in the lower part of the exposed layer(the black frame in C shows a bone skewed the layer).

这一化石层主要以鸭嘴龙科化石为主(1 058 块),为记录的化石总数的 84%,可辨认的化石中仅有兽脚类 7 块、龟类 12 块。这一区域发现的鸭嘴龙科化石其形态与遗址馆内和第 1、2 化石层发现的鸭

嘴龙科化石比较相似,一部分个体应属于一种栉龙亚科的新成员(Zhang *et al.*, 2017),而另一部分属于棘鼻青岛龙(杨钟健,1958;张嘉良、汪筱林,2012;张嘉良,2013;Prieto-Márquez,2008,2010)。此外,

该化石层的鸭嘴龙科成员的个体也明显分成大中小三类,同样按其股骨和胫骨长度推测应分别代表成年、亚成年和幼年晚期个体(Horner *et al.*, 2000),其中幼年个体最多,成年个体次之,而亚成年个体最少。

3.4 第 4、5 化石层埋藏特征

第 4、5 化石层具有相似的沉积和埋藏特征,主要为砖红色泥岩(插图 2, 3),富含脊椎动物化石(插图 2, 3),其中第 4 化石层发现的化石骨骼也是个体大的位于下部,个体小的位于上部,但与第 1—3 层主要为鸭嘴龙科成员略有不同,这一层中不但发现鸭嘴龙类,而且发现可能属于甲龙类和兽脚类的部分骨骼。第 5 化石层目前仅发现 3 个较完整的龟类化石,而其他类群的骨骼还没有被发现。

4 化石埋藏环境与集群死亡分析

2 号地点的几个化石富集层都具有较为相似的岩石学、沉积学和埋藏学特征,均显示为泥石流搬运特征,而化石层之间的岩层则多为洪泛平原沉积。同时,这些化石富集层(除第 5 层外)还都具有以下沉积特征:1)骨骼具有下粗上细的粒序性;2)大小个体不同的骨骼保存在一起,虽然分散但保存完整,有的骨骼还部分关联,同一个体的骨骼相距很近;3)骨骼长轴没有明显的方向性,大部分平行层面,有的斜交甚至垂直层面;4)有些层位完整骨骼和二次搬运的呈砾石状有一定磨圆的破碎骨骼混杂堆积;5)个别层上部细小骨骼诸如牙齿等与大量植物碎屑,以及较小的恐龙蛋碎片共同保存。这些特征是典型的泥石流沉积(Eberth *et al.*, 2006; Evans *et al.*, 2015),上部灰绿色层甚至是水下扇沉积(Scherzer and Varricchio, 2010)。

第 1、2 化石层中大量完整、个体大小不同以及相互关联的骨骼代表突发性泥石流导致生活着的鸭嘴龙动物群集群死亡,其中在化石层底部和中上部呈砾石状的骨骼碎块和大量恐龙蛋蛋壳碎片都具有明显的二次搬运特征。此外,这一化石层上部发现的大量植物碎屑和水生无脊椎动物化石也反映了其在一段时间内频繁受到流水作用的影响(Evans *et al.*, 2015)。综上推测,这一富集层的化石至少经历了两次以上的洪水和泥石流作用,在最终搬运前,部分恐龙尸体经过暴露软组织已腐烂仅剩骨骼,但也有大量活着的个体被卷入泥石流导致其死亡,暴露

的骨骼被泥石流打碎成为砾石状,而具有软组织保护的肢体被泥石流吞没撕裂,经短距离搬运后并快速沉积和埋藏。

第 3 化石层与第 1、2 化石层的埋藏特征基本相同,下部较完整的骨骼磨损程度较小(插图 6),显示这些鸭嘴龙死亡后遗体并未长时间暴露,也没有受到肉食性恐龙等的破坏。尽管本文中并未进行系统的骨骼完整度分析,但已有的化石埋藏资料显示,在第 3 化石层中已发现的骨骼所代表的个体完整度都相对较低,这一化石层中发现的可归于鸭嘴龙科的化石仅有 1 058 块,而通过骨骼分布状况及股骨、胫骨个数推测至少有 18 个大小不同的鸭嘴龙科个体,总共应有 7 002 块骨骼,其中每个个体应有 389 块骨骼(Eberth *et al.*, 2014),目前发现的骨骼仅为理论数量的 15%。由于生物和风化作用对本标影响较小,因此认为骨骼的缺失主要是发掘面积太小造成的。从骨骼原始埋藏状态来看,虽然受泥石流短距离快速搬运埋藏的同一个个体的骨骼都相聚不远,但近 20 个不同大小个体的恐龙埋藏在约 200 m² 的范围内,显然是不够的。综合以上分析,初步推测第 3 化石层中的化石埋藏特征显示,生活着的鸭嘴龙动物群体被突发的洪水和泥石流吞没,经过短距离的搬运尸体撕裂后快速堆积埋藏下来,此后并未发生二次搬运。

此前多位研究者认为幼年鸭嘴龙群落与成年鸭嘴龙群落之间存在生态学意义上的隔离(Carpente, 1999; Lauters *et al.*, 2008; Scherzer and Varricchio, 2010; Hone *et al.*, 2014)。有些化石层中仅发现有幼年个体或亚成年个体(Scherzer and Varricchio 2010),而有些化石层中仅发现成年个体(Hone *et al.*, 2014)。而在莱阳 2 号地点,第 1—3 化石层中的鸭嘴龙骨骼都明显可分成个体大小不同的几类,个体较小股骨或胫骨的长度大致为个体较大的一半,个别骨骼介于两者之间(插图 6)。参照 Horner 等(2000)对慈母龙个体发育阶段的研究,按其股骨和胫骨长度推测这三类大小不同的个体应分别属于成年、亚成年和幼年晚期个体,而 2 号地点的这些化石层中都没有发现更为幼年的个体。这一个体大小分布特点与 Brinkman(2014)描述的加拿大阿尔伯塔省(Alberta)的恐龙公园组(Dinosaur Park Formation)的鸭嘴龙类化石层以及 Lauters 等(2008)记述的俄罗斯远东地区布拉戈维申斯岛(Blagoveschensk)的阿穆尔龙(*Amurosaurus*)化石层的个体大小分布特点十分相似。Carpenter

(1999)认为由于长途迁徙能力和食物结构不同等原因,幼年鸭嘴龙群落单独生活,直至成长至亚成年或成年个体大小的一半时才加入成年鸭嘴龙群落。Lauters 等(2008)利用这一假说对阿穆尔龙化石层阿穆尔龙个体大小分布特点进行了解释。同样,这一假说也可以解释 2 号地点仅发现成年个体,以及其一半大小的幼年晚期个体和个别亚成年个体的情

况。结合莱阳 2 号化石地点鸭嘴龙富集层沉积和化石埋藏特征反应的泥石流事件,可以推断莱阳鸭嘴龙动物群的集群死亡事件发生在幼年晚期个体刚刚加入到成年鸭嘴龙群落后,生活在河湖边的这一鸭嘴龙群体被卷入突发的洪水泥石流,并短距离搬运快速堆积所致,有时鸭嘴龙遗体暴露后,又经过后续发生的泥石流的二次搬运。



插图 6 2 号地点第 3 化石层中保存完整的不同个体的鸭嘴龙类骨骼

The different sized and complete hadrosaurid bones from fossil-bearing layer 3 at Locality 2

A. 成年个体的左胫骨, B. 亚成年个体的左股骨, C. 幼年晚期个体的右股骨, D. 幼年晚期个体的左胫骨。比例尺 = 10 cm。

A. Left adult-sized tibia, B. left subadult-sized femur, C. right late juvenile-sized femur, D. left late juvenile-sized tibia. Scale bar = 10 cm.

5 结 论

1) 近年来在莱阳 2 号化石地点发掘, 已经发现连续的 5 个化石富集层, 其中三个化石层主要以鸭嘴龙类化石为代表。这些化石富集层主要为含砂砾的粉砂质泥岩, 骨骼分散但完整, 具有一定的分选和

粒序性, 大部分骨骼平行层面保存, 还有部分骨骼斜交或垂直层面埋藏, 具有典型的泥石流沉积特征和骨骼埋藏特征。

2) 化石层的埋藏特征反映了两种死亡和埋藏模式, 即恐龙群体活着时遭遇泥石流吞没集群死亡后, 经过短距离搬运, 并迅速沉积掩埋; 恐龙死亡后, 部分遗体经一段时间暴露后, 被后续发生的泥石流卷

入并二次搬运。

3)化石层中鸭嘴龙类化石,一部分个体可能代表栉龙亚科成员,而另外一部分个体归于赖氏龙亚科的棘鼻青岛龙。这些鸭嘴龙化石从个体大小上又可分为三类,可能分别代表成年、亚成年和幼年晚期个体。

4)莱阳 2 号地点主要化石富集层埋藏特征,反映了在晚白垩世多次突发的洪水泥石流流事件,导致生活在河湖边的幼年晚期至成年的鸭嘴龙动物群的集群死亡。

致谢 感谢两位匿名审稿人提出很好的修改意见。感谢中国科学院古脊椎动物与古人类研究所的李岩、向龙、高伟、周红娇、汪瑞杰、潘睿、孟溪、许丹、汪文灏、寿华铨、刘新正、张杰和王平等先后参加野外发掘采集及化石修理等工作。感谢莱阳杨国强、李胜刚、邹常厚、鲁孟选、王岩、盖新章、蓝洪、张卫华、赵玉庭、孙玉、李文斌、李建和王建华等对野外发掘工作的大力支持。国家自然科学基金(41172018, 41572020)、国家自然科学基金重大研究计划项目(91514302)、国家自然科学基金基础科学中心项目(41688103)、中国科学院战略性先导科技专项(B类)(XDB18000000)、国家重点基础研究发展计划项目(2012CB821900)、国家杰出青年科学基金(40825005)和莱阳市政府合作项目资助。

参 考 文 献 (References)

- Brinkman D B, 2014. The size-frequency distribution of hadrosaurs from the Dinosaur Park Formation of Alberta, Canada. *In*: Eberth D A, Evans D C (eds.), *Hadrosaurs*. Bloomington, Indiana: Indiana University Press. 416—421.
- Buffetaut E, Tong H Y, 1995. The Late Cretaceous dinosaurs of Shandong, China; old finds and new interpretations. *In*: Sun A L, Wang Y Q (eds.), *Sixth Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems and Biota*. Beijing: China Ocean Press. 139—142.
- Carpenter K, 1999. *Eggs, Nests, and Baby Dinosaurs*. Bloomington, Indiana University Press. 1—336.
- Chow Ming-chen, 1951. Notes on the Late Cretaceous dinosaurian remains and the fossil eggs from Laiyang, Shantung. *Bulletin of the Geological Society of China*, **31**(1-4): 89—96.
- Chow Ming-chen(周明镇), 1954a. Additional notes on the microstructure of the supposed dinosaurian eggshells from Laiyang, Shantung. *Acta Palaeontologica Sinica* (古生物学报), **2**(4): 389—394(in Chinese).
- Chow Ming-chen(周明镇), 1954b. Cretaceous turtles from Laiyang, Shantung. *Acta Palaeontologica Sinica* (古生物学报), **2**(4): 395—403(in Chinese).
- Chow Tan-heng(周赞恒), 1923. A preliminary note on some younger Mesozoic plants from Shantung. *Bulletin of the Geological Survey of China*(地质汇报), **5**(2): 81—141(in Chinese).
- Dong Zhi-ming(董枝明), 1978. A new genus of Pachycephalosauria from Laiyang, Shantung. *Vertebrata Palasiatica* (古脊椎动物学报), **16**(4): 225—228(in Chinese).
- Eberth D A, Britt B B, Scheetz R, Stadtman K L, Brinkman D B, 2006. Dalton Wells; geology and significance of debris-flow-hosted dinosaur bonebeds in the Cedar Mountain Formation (Lower Cretaceous) of eastern Utah, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **236**: 217—245.
- Eberth D A, Lloyd D, Evans D C, 2014. Occurrence and taphonomy of the first documented hadrosaurid bonebed from the Dinosaur Park Formation (Belly River Group, Campanian) at Dinosaur Provincial Park, Alberta, Canada. *In*: Eberth D A, Evans D C (eds.), *Hadrosaurs*. Bloomington, Indiana: Indiana University Press. 502—523.
- Evans D C, Eberth D A, Ryan M J, 2015. Hadrosaurid (*Edmontosaurus*) bonebeds from the Horseshoe Canyon Formation (Horseshoe Member) at Drumheller, Alberta, Canada; geology, preliminary taphonomy, and significance. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **52**(8): 642—654.
- Grabau A W, 1923. Cretaceous fossils from Shantung. *Bulletin of the Geological Survey of China*(地质汇报), **5**(2): 143—182(in Chinese).
- Hone D W, Sullivan C, Zhao Qi, Wang Ke-bai, Xu Xing, 2014. Body size distribution in a death assemblage of a colossal hadrosaurid from the Upper Cretaceous of Zhucheng, Shandong Province, China. *In*: Eberth D A, Evans D C (eds.), *Hadrosaurs*. Bloomington, Indiana: Indiana University Press. 524—531.
- Horner J R, de Ricqlès A, Padian K, 2000. Long bone histology of the hadrosaurid dinosaur *Maiaasaura peeblesorum*: growth dynamics and physiology based on an ontogenetic series of skeletal elements. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **20**: 115—129.
- Hu Cheng-zhi(胡程志), Cheng Zheng-wu(程政武), Pang Qi-qing(庞其清), Fang Xiao-si(方晓思), 2001. *Shantungosaurus giganteus*. Beijing: Geological Publishing House. 1—216 (in Chinese).
- Lauters P, Bolotsky Y L, Van Itterbeeck J, Godefroit P, 2008. Taphonomy and age profile of a latest Cretaceous dinosaur bone bed in Far Eastern Russia. *Palaios*, **23**: 153—162.
- Li Ri-hui(李日辉), Zhang Guang-wei(张光威), 2001. A preliminary study of nonmarine trace fossils from the Laiyang Group (Early Cretaceous), Laiyang Basin, eastern China. *Acta Palaeontologica Sinica* (古生物学报), **40**(2): 252—261(in Chinese).
- Liu Dong-sheng(刘东生), 1951. Discovery process of dinosaur and egg fossils in Laiyang, Shandong. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), **2**: 1157—1162(in Chinese).
- Prieto-Márquez A, 2008. *Phylogeny and Historical Biogeography of Hadrosaurid Dinosaurs*. Florida State University; PhD Dissertation. 1—936.

- Prieto-Márquez A, 2010. Global phylogeny of Hadrosauridae (Dinosauria; Ornithopoda) using parsimony and Bayesian methods. *Zoological Journal of the Linnean Society*, **159**: 435—502.
- Scherzer B A, Varricchio D J, 2010. Taphonomy of a juvenile lambeosaurine bonebed from the Two Medicine Formation (Cretaceous) of Montana, United States. *Palaios*, **25**: 780—795.
- Tan Xi-chow (谭锡畴), 1923. New research on the Mesozoic and early Tertiary geology in Shantung. *Bulletin of the Geological Survey of China (地质汇报)*, **5**(2): 55—79 (in Chinese).
- Wang Qiang, Wang Xiao-lin, Zhao Zi-kui, Zhang Jia-liang, Jiang Shun-xing. 2013 New turtle egg fossil from the Upper Cretaceous of the Laiyang Basin, Shandong Province, China. *Anais Da Academia Brasileira De Ciências*, **85**(1): 103—111.
- Wang Xiao-lin, Wang Qiang, Jiang Shun-xing, Cheng Xin, Zhang Jia-liang, Zhao Zi-kui, Jiang Yan-gen, 2012. Dinosaur egg faunas of the Upper Cretaceous terrestrial red beds of China and their stratigraphical significance. *Journal of Stratigraphy*, **36**(2): 400—416.
- Wang Xiao-lin (汪筱林), Wang Qiang (王 强), Wang Jian-hua (王建华), Zhang Jia-liang (张嘉良), Cheng Xin (程 心), Jiang Shun-xing (蒋顺兴), Pan Rui (潘 睿), 2010 An overview on the Cretaceous dinosaurs and their eggs from Laiyang, Shandong Province, China. In: Dong Wei (董 为) (ed.), *Proceedings of the Twelfth Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology*. Beijing, China Ocean Press. 293—316 (in Chinese).
- Wiman C, 1929. Die Kreide-Dinosaurier aus Shantung. *Palaeontologia Sinica (Series C) (中国古生物志, C 卷)*, **6**(1): 1—67.
- Yan Jun (闫 峻), Chen Jiang-feng (陈江峰), 2005. Clinopyroxene megacrysts in the Late Mesozoic basalts from Daxizhuang, Jiaozhou. *Journal of Anhui University Science Technology (Natural Science) (安徽理工大学学报, 自然科学版)*, **25**(3): 9—13 (in Chinese).
- Young Chung-chien (杨钟健), 1954. Fossil eggs from Laiyang, Shantung, China. *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **2**(4): 371—388 (in Chinese).
- Young Chung-chien (杨钟健), 1958. The dinosaurian remains of Laiyang, Shantung. *Palaeontologia Sinica (New Series C) (中国古生物志, 新 C 卷)*, **16**: 1—138 (in Chinese and English).
- Young Chung-chien, 1960. Fossil footprints in China. *Vertebrata Palasiatica*, **4**(2): 53—66.
- Zhang Jia-liang (张嘉良), 2013. New Materials of Hadrosaurids from Laiyang, Shandong and the Restudy on the Cranial of *Tsintaosaurus spinorhinus*. Master Degree Dissertation of The University of Chinese Academy of Sciences. 1—57 (in Chinese).
- Zhang Jia-liang (张嘉良), Wang Xiao-lin (汪筱林), 2012. Summary on the morphology and function of the cranial crests of hadrosaurid dinosaurs. *Science (科学)*, **64**(3): 24—28 (in Chinese).
- Zhang Jia-liang, Wang Xiao-lin, Wang Qiang, Jiang Shun-xing, Cheng Xin, Li Ning, Qiu Rui, 2017. A new saurolophine hadrosaurid (Dinosauria: Ornithopoda) from the Upper Cretaceous, Shandong, China. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences (in press)*.
- Zhao Xi-jin (赵喜进), 1962. A new genus of Psittacosauridae from Laiyang, Shantung. *Vertebrata Palasiatica (古脊椎动物学报)*, **6**(4): 349—364 (in Chinese).
- Zhen Shuo-nan (甄朔南), 1976. A new species of hadrosaur from Shandong. *Vertebrata Palasiatica (古脊椎动物学报)*, **14**(3): 166—168 (in Chinese).
- Zhou Chang-fu, 2010. A possible azhdarchid pterosaur from the Lower Cretaceous Qingshan Group of Laiyang, Shandong, China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **30**(6): 1743—1746.

PRELIMINARY RESEARCH ON THE PECULIAR TAPHONOMY OF THE LATE CRETACEOUS LAIYANG HADROSAUROID FAUNA IN SHANDONG

ZHANG Jia-liang^{1,2)}, WANG Qiang¹⁾, JIANG Shun-xing¹⁾, CHENG Xin¹⁾,
LI Ning¹⁾, ZHANG Xin-jun^{1,2)}, QIU Rui^{1,2)} and WANG Xiao-lin^{1,2)}

1)Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins of Chinese Academy of Sciences, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, PO Box 643, Beijing 100044, China;

2)University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China, Corresponding author: wangxiaolin@ivpp.ac.cn

Key words Hadrosaurid, taphonomy, Wangshi Group, Late Cretaceous, Laiyang, Shandong

Abstract

In recent years, five fossil-bearing layers, which mainly contain abundant dinosaur fossils, are found in the massive excavations at Locality 2 of Laiyang, Shandong Province. It is east of the Locality 1 (Young's *Tsintaosaurus* quarry). The main fossils are hadrosaurids, some of which would be referred to Saurolophinae, with some bones of *Tsintaosaurus spinorhinus* (Lambeosaurinae). The hadrosaurid elements can be assigned to an assumed adult, subadult, and late juvenile individuals according to their size. These fossil-bearing layers are mainly grey-green or red-brown mudstones. The fossil in these layers are interpreted as having been carried by debris flows and deposited. This indicates two different taphonomic modes. Alive

hadrosaurids were swallowed and torn by a sudden debris flow, and the carcasses were carried a short distance and quickly buried. The fossils in this layer are complete but disarticulated, and the ones belonged to a same individual are sited in a small area. The carcasses, natural death or killed by flood or debris flows, which were exposed on the floodplain, were rotted, and broken as fragments by the debris flows during the final burial. The fossils in this layer are mixed by the complete and fractured bones. The taphonomic feature of these fossil-bearing layers indicates that there was a fauna, which was dominated by various hadrosaurids, that lived nearby the lake or river. After the late juvenile individuals joined into the adult groups, the mass mortality, which were caused by the debris flows, killed and quickly buried the fauna.