

中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳化石的 显微结构和氨基酸组成

赵 资 奎

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

袁 全 王将克 钟月明

(中山大学化学系)

(中山大学地质系)

内 容 提 要

中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳化石的显微结构和氨基酸组成, 和非洲鸵鸟以及马达加斯加隆鸟的有一定的相似性, 而与鹑鹑和鹤鸵等有较显著的不同。

此外, 根据蛋壳化石的显微结构和氨基酸的组成性质, 进一步证明中国猿人化石产地发现的鸵鸟蛋壳化石, 大部分在石化之前就曾经受过火的烧烤, 但是还有一部分蛋壳则没有被烧过。

前 言

鸵鸟蛋是中国猿人化石产地较为常见的一类化石。但是, 在这个地点中所找到的这类标本, 都是一些大小不等的蛋壳碎片, 有的呈乳黄色, 有的已经成灰黑色。对于这批化石, 除杨钟健(1933)作过初步报道外, 迄今, 还未作过进一步的研究。

近年来, 由于电子显微镜和分析技术的发展, 在卵壳的研究方面已经进入超微结构和分子级的研究水平。从已发表的资料来看, 当前有关这方面的研究有两个主要方向: 一是从种系发生的角度, 对各类蛋壳(爬行类和鸟类)的生物矿物组分, 显微结构, 超微结构和氨基酸组成等进行对比研究; 另一方面是从生物矿物学出发, 探讨基质的氨基酸组成和一定的生物矿物之间的相互关系。

到目前为止, 有关上述的研究虽然取得了一些进展, 但还是极不充分的, 尤其是关于蛋壳化石方面的研究则更为缺乏。在这种情况下要弄清楚上述的问题, 任务是相当艰巨的。因为它需要包括绝大多数现生的和化石的爬行类和鸟类蛋壳标本以及研究方法上不断地予以改进。

我们选择鸵鸟蛋化石, 特别是先从周口店中国猿人化石产地的标本进行研究, 一方面在于可以从这些研究结果, 为探讨中国猿人的生活习性提供一些资料, 更主要的是鸵鸟蛋化石在我国特别丰富, 分布很广(从上新世到新石器时代, 在我国北方广大地区都有发现)。此外, 和这些化石相近的几个现生种类, 如鸵鸟, 鹑鹑, 鹤鸵和鸸鹋等, 乃是鸟类中分

布得比较广的种类,它们在非洲,澳洲和南美洲都可以找到,便于进行比较。这里提出的只是我们这项研究的一篇文章。

材 料 和 方 法

中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳化石主要见于第三,第四,第八,第九和第十层(贾兰坡,1979),其中以在第四层的灰烬中发现最多。

本文所用的研究材料,选自中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本室收藏的这个地点的第三,第四层中出土的蛋壳化石。根据杨钟健(1933)的研究,认为它们属安氏鸵鸟(*Struthio anderssoni*)蛋。我们按照化石的颜色,将它们分为乳黄色蛋壳和灰黑色蛋壳两类,分别进行分析和鉴定。此外,还研究了由北京动物园李福来同志提供的现生非洲鸵鸟,澳洲的鸸鹋和鹤鸵以及南美洲的鸚鵡等的卵壳,作为本研究比较之用。

首先用普通磨片方法将上述标本切成垂直于蛋壳表面(径切面)和使各不同层次(弦切面)大致平行于蛋壳表面的显微镜标本。在显微镜下进行观察测量。

为了研究蛋壳的生物矿物组成,我们用 R.F.T. 自动扫描 X 光衍射仪(CuK₂ 射线,波长 1.542 Å,电压 40kV,电流 12mA,扫描速度 1°/分)进行 X 光粉末图分析。

化石的氨基酸组成的研究,是将上述经过显微结构鉴定,确定为相同的标本,先去掉附着于其表面的泥沙等杂质。然后用稀盐酸和重蒸馏水冲洗,并在超声波清洗槽中清洗 20—30 分钟,最后用双蒸无离子蒸馏水冲洗数次,真空干燥,备用。

为了避免污染,所用试剂都用分析纯试剂,在磨砂接口蒸馏装置重新蒸馏 1—2 次。

分析氨基酸时,先称取上述经过处理干净的蛋壳化石 1 克,粉碎后放于烧杯中,加入 5—8 毫升 6N 盐酸将其溶解(样品在溶解过程中有大量二氧化碳气体放出,并有少量的硫化氢气味;灰黑色蛋壳在溶解过程中还出现大量的不溶解的碳黑色残渣)。然后置于 60°C 恒温水浴蒸发,除去过量盐酸。待干后,再加入 6 毫升 6N 盐酸,移入硬质玻璃管中,真空后充入氮气,立刻封管。然后置于 110°C 恒温箱中加热 24 小时,使其水解。水解后的样品液被置于 60°C 恒温水浴上蒸发,除去过量盐酸,再加入双蒸无离子蒸馏水洗涤,离心分离掉少量的沉淀物。将分离后的样品液调至 pH = 2,在 Dowex-50 阳离子交换树脂柱上脱盐,并用 4N 的氢氧化铵溶液洗脱被吸附在交换树脂柱上的氨基酸,接着将洗脱液调至 pH = 12,放入真空干燥器中蒸发,直至全部的 NH₃ 被除去为止。最后,将样品配成一定浓度的溶液,经薄层点滴分析,用茚三酮作显色剂,检查氨基酸的存在和无机离子是否已经除尽,使用“岛津—835 型”氨基酸自动分析仪分析样品中各种氨基酸的含量。

结 果 与 讨 论

一、关于蛋壳的显微结构

(图版 1)

中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳(乳黄色)厚约 2.2 毫米,乳突层厚 0.7 毫米,约占蛋壳厚

度的 1/3。构成乳突的方解石微晶多呈楔形, 三角形和多角形等(弦切面), 粒径为 0.07—0.16 毫米。层状稜柱层特别致密。在径切面中, 层状稜柱层似乎可以再分为内外两层, 内层与乳突层为过渡接触, 柱状体基本上与蛋壳的平面垂直, 再往外(即外层)则逐步过渡为放射状的交叉排列。在弦切面中, 每个柱状体的弦切面呈现不规则的锯齿状, 与其相邻的柱状体互相嵌结。这种结构使蛋壳层状稜柱层具有很高的坚固性。

气孔道一般较直, 偶尔呈分枝, 气孔道壁不平滑, 可能是在石化过程中由于地下水浸蚀的结果。气孔道中常充填有次生的细粒方解石碎屑。气孔的弦切面一般为圆形, 有时呈裂隙形。孔径大小很不均一, 一般在 0.05—0.02 毫米之间, 这在靠近蛋壳的外表面处尤为明显。在弦切面中, 还可以见到气孔的分布, 疏密很不均匀, 经常是由 4—10 个气孔群集一起。

关于灰黑色的蛋壳化石, 其显微结构和上述乳黄色蛋壳的基本相同, 只是灰黑色蛋壳的层状稜柱层呈灰黑色, 乳突层为略透明的灰白色。乳突中方解石微晶较为疏松, 容易剥落。这种现象可能是它们曾经受过火的烧烤的结果。由于热的作用, 含有蛋白多糖的蛋壳基质纤维遭受变性和破坏而形成暗黑色。关于这个问题, 将在下面与这些蛋壳化石的氨基酸分析结果一起讨论。

根据以上所述, 中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳的主要特征如下: 蛋壳的厚度为 2.2 毫米, 层状稜柱层中的柱状体由与蛋壳平面相垂直的平行排列逐渐过渡为放射状的交叉排列。气孔道偶尔呈分枝。这些特征和现代非洲鸵鸟的有较明显的差别(如插图 1 所示), 和其它的平胸鸟类相比, 也完全不同。

关于鸵鸟等平胸鸟类卵壳的显微结构和超微结构的研究, Tyler 和 Simkiss (1959) 和 Erben (1970) 等已作过不少工作。这些鸟类卵壳显微结构的基本模式虽然比较相似, 它们都是由乳突层和层状稜柱层组成, 但有明显的不同。例如从蛋壳的厚度来看(见表 1), 中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳比较厚, 仅次于隆鸟, 但较接近非洲鸵鸟。

鸚鵡蛋壳层状稜柱层呈浅黄色, 鹑鹑的为海蓝色, 鹤鸵为绿色, 乳突层和层状稜柱层

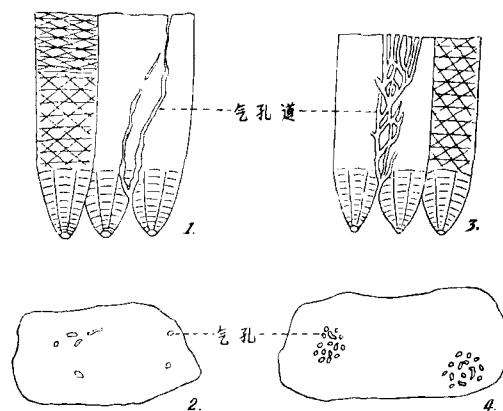


图 1 鸵鸟蛋壳显微结构模式图

- 1—2; 中国猿人化石产地鸵鸟, 1. 径切面, 2. 层状稜柱层弦切面,
3—4; 非洲鸵鸟, 3. 径切面, 4. 层状稜柱层弦切面。

表 1 几种平胸鸟类蛋壳厚度对比(毫米)

	鸚 鵡	鹤 鸵	鹑 鹑	恐 鸟	非洲鸵鸟	隆 鸟	中国猿人化石产地鸵鸟
蛋壳厚度	0.9	1.0	1.1	1.4*	1.9	3.5*	2.2
乳突层厚度	0.30	0.30	0.32		0.50		0.70

* 根据 Tyler 和 Simkiss (1959) 的资料。

之间有明显分界。相反的,非洲鸵鸟,隆鸟和中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳,乳突层和层状稜柱层之间一般无明显分界,但前者层状稜柱层中柱状体由里向外基本上与蛋壳平面垂直。

就蛋壳气孔道的形状来看,鹑鹑和鹤鸵蛋壳气孔道呈漏斗状,即在蛋壳外表面处,气孔呈裂隙形,往里逐渐变圆;非洲鸵鸟蛋壳气孔道成群分布,也就是说,在每隔一定的距离,气孔道由乳突间隙经层状稜柱层即分成许多小枝,一直通到外表面。因此,在蛋壳外表面,气孔常以 10—20 个左右群集一起,而在这些气孔集中的地方,一般呈浅凹形。隆鸟蛋壳气孔道偶尔呈分枝,和中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳的较为相似。

因此,总的说来,尽管这几种鸟类彼此之间蛋壳显微结构差别较大,但中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳在某些方面和非洲鸵鸟以及马达加斯加隆鸟的比较相近,说明它们之间可能存在一定的关系。

二、关于蛋壳的生物矿物组成

根据 Erben (1970) 的研究,鸟类的卵壳,除了最主要部分是由方解石微晶组成的外,还有一小部分文石。鉴于鸵鸟蛋壳化石的显微结构的基本模式同其它鸟类卵壳的结构极其一致,因此一般都相信,其原来的生物矿物组成除占优势的方解石外,也应当有一

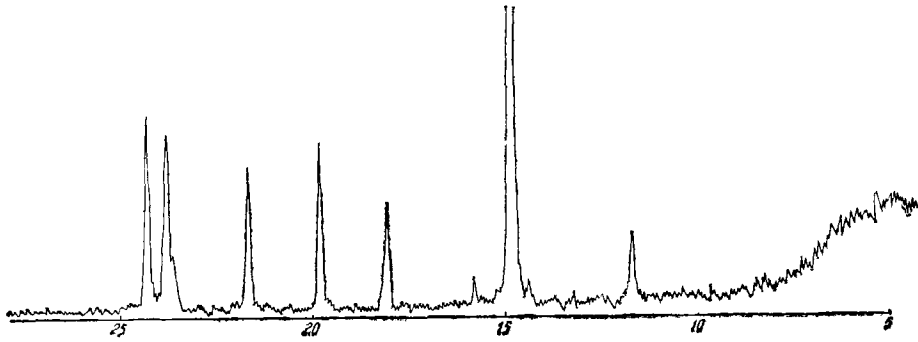


图2 中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳化石的X光粉末衍射曲线

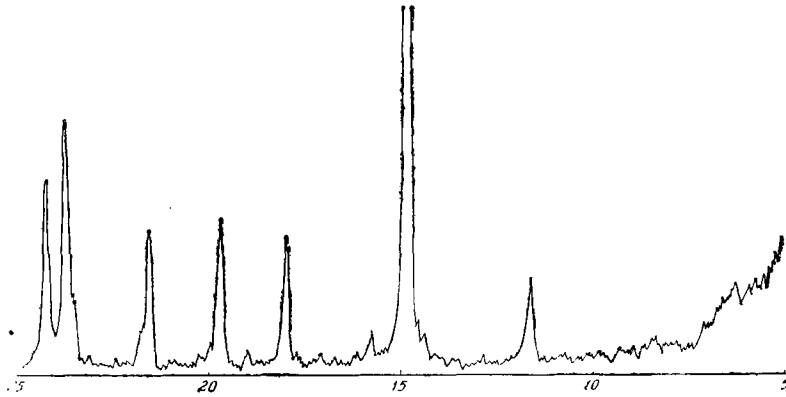


图3 现代非洲鸵鸟蛋壳的X光衍射曲线

小部分文石存在。

我们用 X 光衍射法研究了我国猿人化石产地鸵鸟蛋壳化石, 结果见图 2, 从其 X 光粉末图来看, 鸵鸟蛋壳化石的无机组成完全是方解石型的碳酸钙, 未见有文石的存在。考虑到文石是一种不稳定的矿物, 在石化过程中, 很容易转化成方解石。上述的研究结果, 也许不能代表其原来的矿物组成。因此, 我们又同时分析了现代非洲鸵鸟蛋壳(已孵化过的和未经孵化过的)生物矿物组成, 其结果如图 3 所示, 同样可以看出是方解石型的碳酸钙, 也未发现有文石的存在。和鸵鸟蛋壳化石的相比, 只是现代非洲鸵鸟蛋壳样品的相适峰宽度比较宽, 而化石样品的则比较窄, 说明化石样品的结晶颗粒较大, 结晶较完整, 方解石化更为显著, 晶粒间的取向更为集中; 而现代的样品则稍为弥散, 结晶颗粒较小。这与它们的显微结构特征是一致的。

按照 Erben (1970, 1972) 的解释, 钙质卵壳演化的过程是由最原始的、以龟鳖类, 或者可能包括假鳄类 (*Pseudosuchia*) 为代表, 它们的卵壳的基本结构单位是唯一地由文石微晶组成的乳突。进一步的发展, 例如进化到了恐龙和鸟类, 由文石微晶所组成的乳突便大大地缩小, 或者退化成为痕迹(即一般称为乳突核心)。与此同时, 又发展出新的结构成分, 即由方解石微晶组成的“片状集合体层”(即一般称为乳突层)和海绵状层(即层状稜柱层)。此外, 从原始的文石卵壳还发展出独特的侧支, 即由鳄类为代表和由有鳞目(更确切的说是以壁虎类)为代表, 它们卵壳的结构, 都是由方解石微晶组成新的结构。在鳄类中, 唯一地由“片状集合体层”构成, 而在壁虎类中, 则只由层状稜柱层构成。

由此看来, 鸵鸟蛋壳的生物矿物组成是否符合 Erben 提出的假说, 或者是一例外, 还须作进一步的研究。

三、关于蛋壳的氨基酸组成

现生各种类型的钙质蛋壳的有机成分, 从形态学上来看, 由里向外顺序地可以分为: 卵壳膜(内膜和外膜); 钙质层(乳突层和层状稜柱层)中的基质以及护膜 (*Cuticula*)。最近, Krampitz 等 (1974) 用机械的方法成功地将蛋壳的这几个部分分离开来, 并对分开来的这几个部分的蛋白质分别进行研究。这样, 由此建立起来的每一个部分的氨基酸组成模式, 要比测定整个蛋壳的氨基酸含量更为精确得多。现已发现, 平胸鸟类卵壳的各个相应部分之间, 氨基酸的组成模式不仅有明显的差别, 而且在种系发生上, 它们之间也有一定的相关性。

在分析我国猿人化石产地鸵鸟蛋壳化石的氨基酸时, 先进行显微结构观察, 确定为相同的标本。这些标本完全缺乏卵壳膜和护膜, 在石化过程中, 由于外界因素的作用, 这些蛋白质膜已被破坏掉了。因此, 我们分析的仅是卵壳基质的氨基酸组成。

现生卵壳基质可分为“不溶性基质”和“可溶性基质”两部分。根据我们的实验观察, 我国猿人化石产地的鸵鸟蛋壳化石完全溶于稀盐酸中, 未见有剩余物, 这一现象同 Krampitz 等 (1974) 分析隆鸟和蒙古察干诺尔出产的鸵鸟卵壳化石的蛋白质完全相似。可以认为, 这些化石蛋白质在石化过程中, 由于外界各种因素的影响而受到不同程度的破坏, 保存下来的仅仅是一些蛋白质的片段而已。因为作为形成桥键化合物的半胱氨酸已被破坏(见分析结果), 于是蛋白质变得更易溶解了。

关于氨基酸分析的结果,见表 2 所列出的数据,同时也列出 Krampitz 等(1974)分析隆鸟和蒙古察干诺尔的鸵鸟蛋壳化石氨基酸组成的资料,作为比较。

从表 2 中列出的各项氨基酸数值可以看出,中国猿人化石产地出土的乳黄色鸵鸟蛋壳的氨基酸组成和灰黑色蛋壳的有着非常显著的不同。

表 2 蛋壳化石的氨基酸组成 (克分子%)

	隆 鸟*	蒙古察干诺尔 鸵鸟*	中国猿人化石产地鸵鸟	
			乳黄色蛋壳	灰黑色蛋壳
天冬氨酸 (Asp)	7.99	10.26	15.09	0.83
苏氨酸 (Thr)	1.44	1.86	1.73	—
丝氨酸 (Ser)	1.75	3.17	0.91	1.69
谷氨酸 (Glu)	15.65	12.55	17.23	1.51
脯氨酸 (Pro)	6.47	5.64	4.00	—
甘氨酸 (Gly)	7.24	8.40	11.68	28.36
丙氨酸 (Ala)	10.77	10.43	17.21	11.15
半胱氨酸 (Cys)	—	—	—	—
缬氨酸 (Val)	5.54	4.02	5.95	2.85
蛋氨酸 (Met)	1.53	0.96	1.68	1.03
异亮氨酸 (Ile)	1.32	5.40	2.16	1.27
亮氨酸 (Leu)	6.00	8.80	7.07	—
酪氨酸 (Tyr)	6.18	4.87	4.16	12.45
苯丙氨酸 (Phe)	11.37	6.09	3.46	5.52
赖氨酸 (Lys)	8.20	7.15	2.42	1.79
氯化铵 (NH ₄ Cl)			2.80	21.56
组氨酸 (His)	1.50	2.96	1.40	9.96
精氨酸 (Arg)	6.98	7.37	0.96	—

* 根据 Krampitz 等(1974)的资料。

乳黄色蛋壳化石的氨基酸含量分布情况是谷氨酸,丙氨酸,天冬氨酸和甘氨酸的含量都相当高,其次是缬氨酸和亮氨酸的含量也比较高。相反地,丝氨酸,苏氨酸,蛋氨酸和精氨酸等的含量则很低,而半胱氨酸竟完全缺乏。对于这样的分析结果,可以认为,它包括已部分分解的不溶性基质和可溶性基质两种成分,或者还有其它方面的污染在内的一种混合数据,因此要对这些分析结果作出详细的解释,困难重重。

关于各种外界因素对化石蛋白质的组成单位的稳定有所影响的问题,可以从那些不稳定的氨基酸,如半胱氨酸,苏氨酸,丝氨酸和蛋氨酸等的含量看出来,半胱氨酸已完全缺失,其它几种氨基酸的含量也比较少。由于这些蛋壳在石化过程中,经过无数次外界因素的影响,不稳定的氨基酸必然地要比那些较为稳定的蛋白质组成单位更早的遭到破坏或发生变化。但是从另一方面来看,种种的改变还不至于非常彻底,因为这些不稳定的氨基酸保存下来的,还是比较多的。

虽然如此,如果把现代平胸鸟类各种卵壳基质氨基酸组成模式作为标准,那么我们关于中国猿人化石产地鸵鸟的乳黄色卵壳化石的氨基酸分析结果,还是可供作比较之用的。

根据 Wyckoff (1972) 和 Krampitz 等(1974) 研究的结果,非洲鸵鸟,美洲鸚鵡,澳

洲鹑鹑和鹤鸵蛋壳氨基酸组成有一种共同的基本趋势,例如,谷氨酸,丙氨酸和天冬氨酸的含量都比较高。尽管如此,它们之间也存在着意义重大的差别。这表现在非洲鸵鸟和美洲鹑鹑的谷氨酸和天冬氨酸的含量相对地比较高,而脯氨酸,亮氨酸和精氨酸则相对地比鹑鹑和鹤鸵的低。此外,从总的方面来看,鹑鹑和鹤鸵蛋壳的氨基酸含量分布,彼此是大为相似的;而非洲鸵鸟和美洲鹑鹑蛋壳的氨基酸含量分布,只在某几点上显示出有一定的相似。

有趣的是中国猿人化石产地的乳黄色鸵鸟蛋壳化石的氨基酸含量分布,按照上述的基本原则,同现代类型的(Wyckoff, 1972; Krampitz 等, 1974)作一比较,就可看出,它们都具有一些共同的性质。但中国猿人化石产地的标本,天冬氨酸的克分子百分比含量为 15.09,谷氨酸为 17.23,丙氨酸为 17.21,这在现代诸类型中没有一种能达到这样高的含量。正如上面已经提到过的,由于在石化过程中,经过无数次的外界影响,氨基酸的组成肯定有所改变,因此在所测定的数据中,必然会不可避免地计算在内。这些影响,可以由微生物的酶,或其它方面的酶以至成岩作用所引起的分解而造成的。尽管如此,我们还是可以对这些仅仅是相应地保存下来的数据作出判断。中国猿人化石产地鸵鸟蛋壳化石的氨基酸组成一般还是较近于非洲鸵鸟,而与鹑鹑和鹤鸵的差别则更大。

如果再与隆鸟和蒙古察干诺尔的鸵鸟蛋壳化石的氨基酸含量分布相比较,如表 2 中所示,总的说来,其基本模式是比较一致的。但是中国猿人化石产地鸵鸟和蒙古察干诺尔的鸵鸟似乎更为接近些,与隆鸟的关系看来比较疏远一些。

因此,从蛋壳氨基酸组成的性质来看,以中国猿人化石产地蛋壳化石和蒙古察干诺尔的蛋壳化石为代表的亚洲新生代后期的鸵鸟,和非洲鸵鸟以及隆鸟之间似乎有一定的相似性质。这与上述的显微结构研究结果是相一致的。

现在再来看看那些灰黑色蛋壳化石的氨基酸含量分布情况。由表 2 可以看出,灰黑色蛋壳化石氨基酸含量分布是苏氨酸,脯氨酸,半胱氨酸,亮氨酸和精氨酸完全缺失;甘氨酸克分子百分比含量很高,为 28.36,其次是酪氨酸,丙氨酸,组氨酸和苯丙氨酸,分别为 12.45, 11.15, 9.96 和 5.52。与上述那些乳黄色蛋壳化石的分析结果相比,有着非常显著的差别。和 Wyckoff (1972) 以及 Krampitz 等 (1972, 1974) 分析的平胸鸟类和某些突胸鸟类蛋壳氨基酸组成的性质也完全不同。

有趣的是 Totten, Jr. 等(1972)曾经把现生的牡蛎 (*Ostrea angelica*) 壳加热至 130°C 约一周的时间,结果牡蛎壳中的蛋白质有 90% 以上被破坏,而且发现其中占总含量 50% 以上的氨基酸被分解掉了。根据 Wyckoff (1972) 的实验,如果氨基酸的混合液加热至 140°C,结果苏氨酸,丝氨酸,蛋氨酸,酪氨酸和精氨酸完全被破坏,而天冬氨酸,谷氨酸,甘氨酸和苯丙氨酸等相对减少;相反地,丙氨酸和缬氨酸等则相对增高,同时还出现新的别异亮氨酸, γ -氨基丁酸,鸟氨酸等。因此,对于灰黑色蛋壳氨基酸组成的性质,较为合理的解释是这些蛋壳在石化之前,就曾经较长时间的经受过火的烧烤,结果使蛋壳基质发生变性和分解。首先是那些较不稳定的氨基酸如半胱氨酸,苏氨酸,丝氨酸,蛋氨酸等最容易受到破坏,接着是某些氨基酸转化成为别的氨基酸,例如天冬氨酸分解成 β -丙氨酸,苏氨酸转化为甘氨酸等。

由此看来,灰黑色蛋壳氨基酸分析结果以及上述这些蛋壳显微结构的性质进一步的

隆鸟目 (Aepyornithiformes)

隆鸟 (*Aepyornis*)

由此看来,如果以 Wetmore 的分类系统为标准,那么在上述鸟类之间,例如上述表现在蛋壳的形态性状和氨基酸含量分布的差异性和相似性,就应当被认为是区别“科”一级或“目”一级的性状。如果这个推论是正确的话,那么,就蛋壳的性质而论,像中国猿人化石产地的蛋壳等为代表的亚洲鸵鸟和非洲鸵鸟之间就不可能是种间的差异,而应当把它们提高到“科”或“目”一级的差别。因此,鲁维关于中国新生代后期鸵鸟的分类意见应当从新修订。

这篇初步的研究报告,只是先从一个地点的标本进行研究,从而提出问题。在我们看来,只要尽可能地、广泛收集材料(包括已发现的少数骨化石在内);在研究方法上,力求建立一个改良的方法,用于提纯卵壳的蛋白质,以便能够互相比较,从而把卵壳的形态,显微结构和氨基酸组成等综合起来研究,上述的问题是可以逐步解决的。

本研究得到杨遵仪教授的指导和修改原稿,郑作新教授提供宝贵意见;有关氨基酸分析,中山大学曾淑云副教授和北京市中药研究所邱开业先生给予指导,谨此致谢。

(1980年8月22日收稿)

参 考 文 献

- 安芷生, 1964: 华北鸵鸟蛋壳化石的新发现及其显微结构的初步研究。古脊椎动物与古人类, 8(4), 374—388。
- 杨钟健, 1937: 中国之鸵鸟蛋壳化石。地质论评, 2(3), 267—272。
- , 1947: 安氏鸵鸟之新发现。地质论评, 12(3—4), 159—161。
- 杨钟健, 孙艾玲, 1960: 中国鸵鸟蛋壳化石的新发现和其在地层上的意义。古脊椎动物与古人类, 2(2), 115—119。
- 赵资奎, 蒋元凯, 1974: 山东莱阳恐龙蛋壳化石的显微结构研究。中国科学, (1), 63—77。
- 贾兰坡, 1978: 北京人时代周口店附近一带的气候。地层学杂志, 2(1), 53—56。
- Erben, H. K., 1970: Ultrastrukturen und Mineralisation rezenter und fossiler Eischalen bei Vögeln und Reptilien. *Biomineralisation*, 1, 1—66。
- Krampitz, G., Erben, H. K. und Kriesten, K., 1972: Über Aminosäurezusammensetzung und Struktur von Eischalen. *Biomineralisation*, 4, 87—99。
- Krampitz, G., Kriesten, K. und Faust, R., 1974: Über die Aminosäuren-Zusammensetzung morphologischer Eischalen-Fractionen von Ratitae. *Biomineralisation*, 7, 1—13。
- Lowe, P. R., 1931: *Struthious Remains from Northern China and Mongolia; with descriptions of Struthio wimani, Struthio anderssoni and Struthio mongolicus. spp. nov.*; *Pal. Sin. C.*, 6(4), 1—47。
- Totten, Jr. D. K., Davidson F. D. and Wyckoff R. W. G., 1972: Amino-acid composition of heated Oyster Shells. *Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 69(4), 784—785。
- Tyler, C. and Simkiss, K., 1959: A study of the egg shells of ratite birds. *Proc. Zool. Soc. Lond.*, 133, 201—243。
- Wetmore, Alexander, 1959: A classification for the birds of the world. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 139(11)。
- Wyckoff, R. W. G., 1972: The biochemistry of animal fossils. *Scientifica* (Publishers) LTD。
- Young, C. C., 1933: On the new find of fossil eggs of *Struthio anderssoni* Lowe in North China, with remarks on the egg remains found in Shansi, Shensi and in Choukoutien. *Bull. Geol. Soc. China*, 12(2), 145—152。

ON THE AMINO ACID COMPOSITION AND MICROSTRUCTURE OF FOSSIL OSTRICH EGGSHELLS FROM SINANTHROPUS SITE, CHOUKOUTIEN

Zhao Zikui

(*Institute of Vertebrate Palaeontology and Palaeoanthropology, Academia Sinica*)

Yuan Quan

(*Department of Chemistry, Zhongshan University*)

Wang Jiangke Zhong Yueming

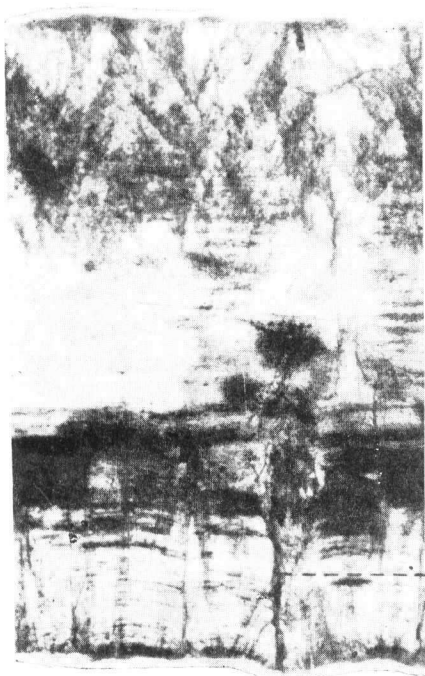
(*Department of Geology, Zhongshan University*)

Abstract

Fossil ostrich eggshells from Sinanthropus site, Choukoutien, presumably belonging to the *Struthio anderssoni* Lowe, have been studied for microstructure and amino acid content by the polarizing microscope, X-ray diffraction and the automatic amino-acid analyser.

Examination of these eggshells shows that the prisms in the stratified prismatic layer have different arrangement from the inner to the surface and also that the pore canals usually are branched. The thickness of these fossil eggshells is 2.2 mm. The amino-acid compositions of eggshell matrix are characterized by a remarkable high content of aspartic acid, glutamic acid, alanine and glycine. According to these results the eggshells under study are more or less similar to those of *Struthio camelus* and *Aepyornis* but they are quite different from those of Casuariiformes.

Besides, basing on the microstructure of the fossil eggshells and the amino-acid composition of the fossil eggshell matrix, we hold that most of ostrich eggshells from Sinanthropus site had been burnt before they were fossilized.

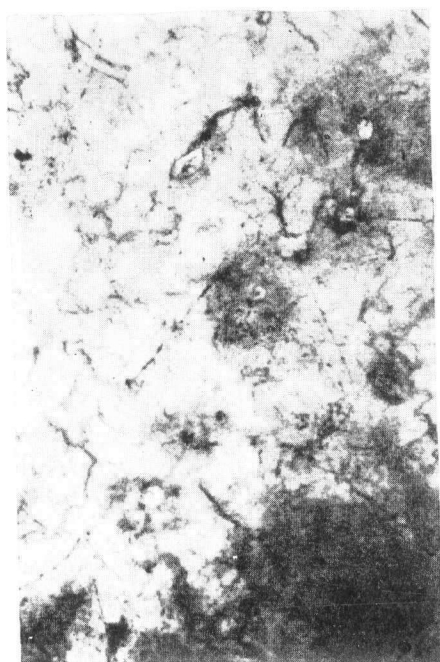


1

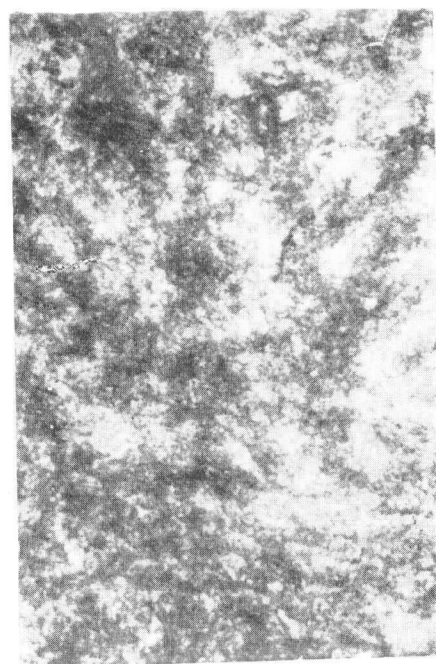


2

气孔道



3



4

气孔

- | | |
|-------------------|----------|
| 1. 径切面 | 单偏光 ×42 |
| 2. 近乳突中部的弦切面 | 单偏光 ×110 |
| 3. 层状稜柱层中部弦切面 | 单偏光 ×60 |
| 4. 层状稜柱层弦切面(近表面处) | 单偏光 ×60 |