

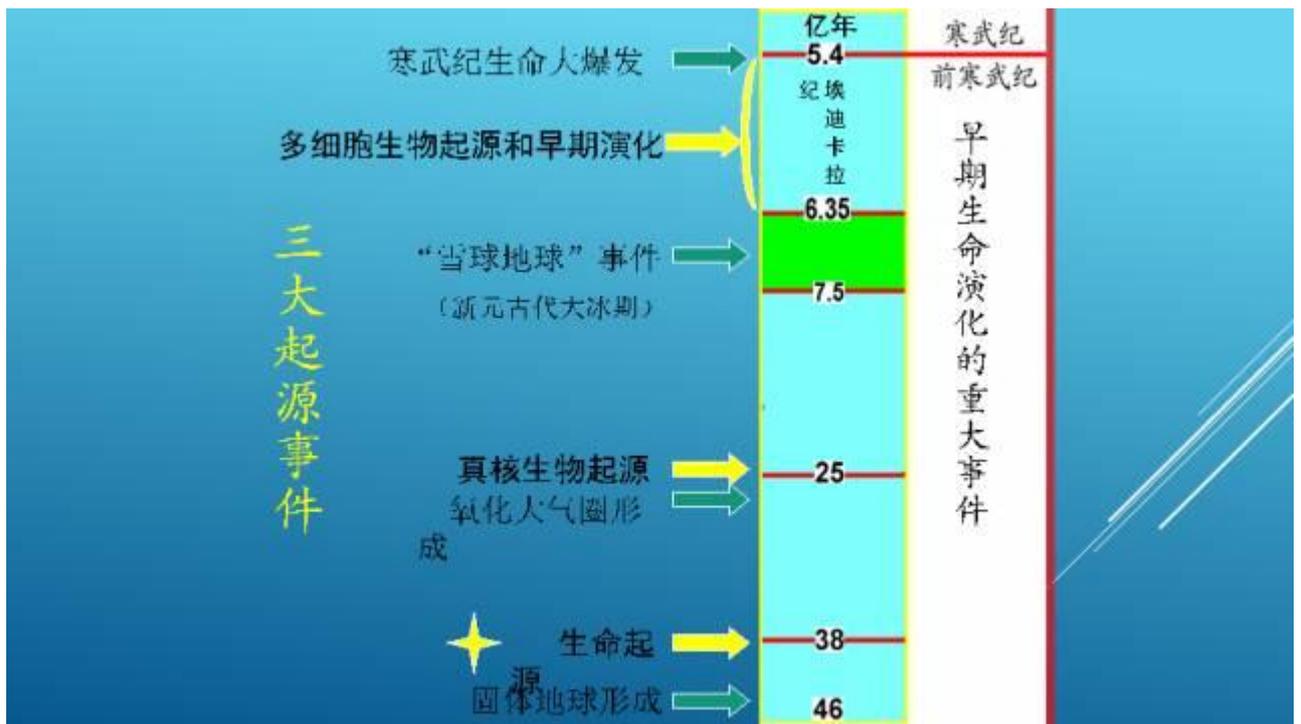
## 从原核到真核，漫长的早期生命演化

作者：冯伟民（中国科学院南京地质古生物研究所）

地球生命自诞生到寒武纪生命大爆发，经历了大约四十亿年的漫长演化，这段历史曾被称为隐生宙，寓意没有生命显现的时代。

后来随着化石的不断发现，这段时期又被统称为前寒武纪，包括了冥古宙（生命出现之前）、太古宙（原核生命时代）和元古宙（真核生命时代）。

从冥古宙、太古宙，到元古宙，地球生命经历了生命诞生，从原核生命到真核生命，从单细胞生命到多细胞生命，从藻类到原生动动物再到多细胞动物的漫长演化过程。



### 原核生命

原核生命是由原核细胞（没有成形的细胞核或线粒体）组成的一类单细胞生物，蓝细菌、细菌、古细菌、放线菌、立克次氏体、螺旋体、支原体和衣原体等都属于原核生命。

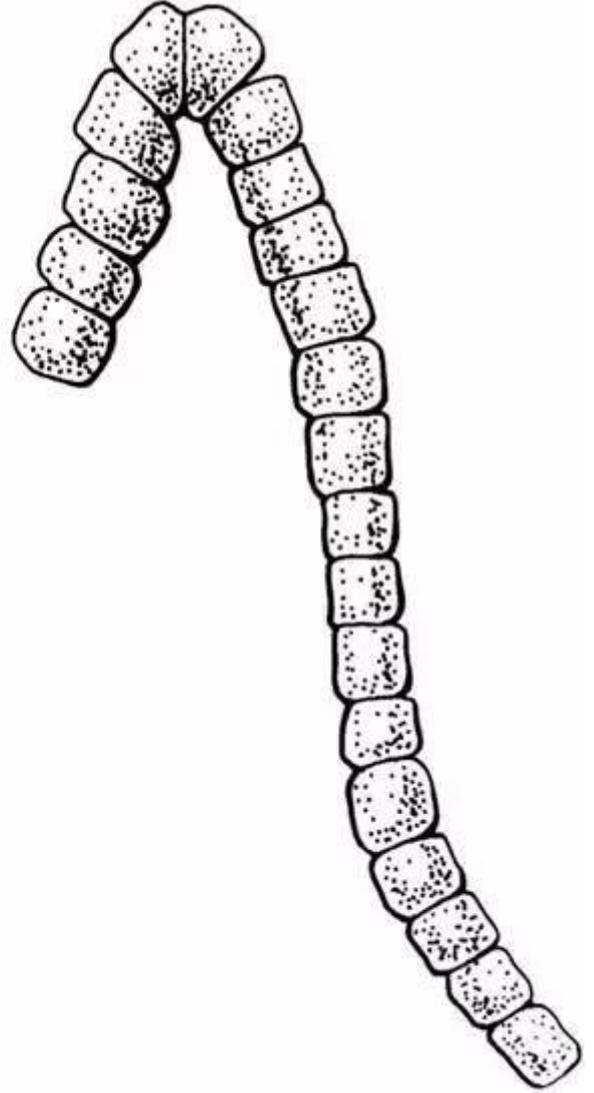
原核生命不足 5 微米，非常微小、原始，难以保存为化石，以至于达尔文时代乃至之后一段时间，科学家们一直没有发现前寒武纪化石。甚至有人一度怀疑前寒武纪是否有生命存在，直到光学显微镜，特别是电子显微镜的出现，才改变了这一困局。

### 古生物界的面貌

有了先进技术的支持，科学家们逐渐将古生物界的原貌展现在大家面前。

目前已知的全球最古老生命记录，是在格陵兰西部早太古代伊苏瓦绿岩带距今 38.5 亿年的变质沉积岩石中发现的富含轻碳（C12）的碳颗粒，这种碳化物通常被认为是在生物作用下形成的。

科学家们在澳大利亚西部距今约 35 亿年的 Warrawoona 群的硅质燧石中发现了形似丝状蓝细菌的微体化石。它们与现代蓝藻在形态上很相似，很可能是一类以太阳光为主要能源的自养生物。碳、硫同位素测试也表明，在该地质时期已经有蓝藻、还原硫细菌等生物构成的原始生物圈。



35 亿年前的蓝细菌

蓝藻，又名蓝细菌，它与细菌的区别在于它的细胞膜内有叶绿素，可以吸收二氧化碳和太阳光，进行光合作用，制造出自己生存所需的有机物，同时释放氧气。而细菌没有叶绿素，只能靠其它有机物或无机物来养活自己。

研究表明，在生命演化的早期，生物界只有异养的细菌和自养的蓝藻组成的二极生态系统。

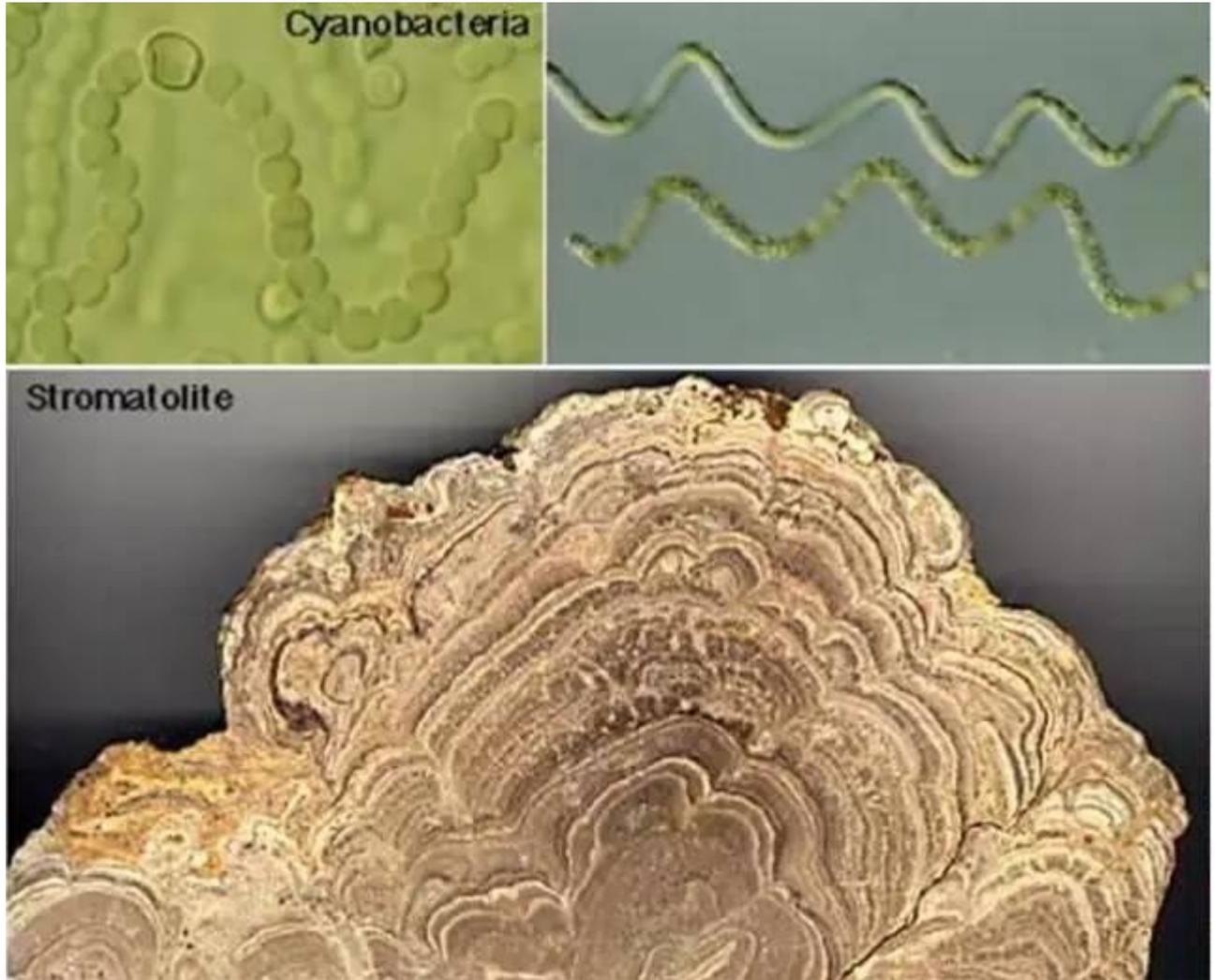
原核细胞生物营无性繁殖方式，通过简单的裂变来实现自我繁殖，其原始的新陈代谢方式使生物处于低能量状态，进化速率很低，致使物种多样性发展十分缓慢。

### 叠层石——最常见的“准化石”

叠层石是反映那时藻类广泛分布最显著的印记。

作为前寒武纪未变质的碳酸盐沉积中最常见的一种“准化石”，叠层石是原核生物所建造的有机沉积结构，由于蓝藻等低等微生物的生命活动所引起的周期性矿物沉淀、沉积物的捕获和胶结作用，从而形成了叠层状的生物沉积构造。

叠层石一度极度繁盛，广泛分布于世界各地，后来由于海洋水化学系统的变化和动物的扰动而迅速萎缩。至今，在澳大利亚西部严酷的高盐地区，仍然生存着现代版的叠层石。



叠层石化石

那么，生命是如何由低级向高级进化的呢？且听我一一道来。

## 大氧化事件与真核生命登场

化石记录表明，35 亿年前的蓝藻就开始进行光合作用，它们释放氧气，使大气逐渐有了游离氧，并在高空形成臭氧层，减少紫外线对生物威胁。

同时，大气和海洋开始变得氧化，从而极大地改变了地球环境，并引发了一系列影响深远的生物演化事件，尤其是发生在距今 23 亿年前和距今 8 亿年前的两次大氧化事件，为真核生物登上历史舞台和晚前寒武纪至寒武纪早期的一系列生物辐射事件奠定了基础。

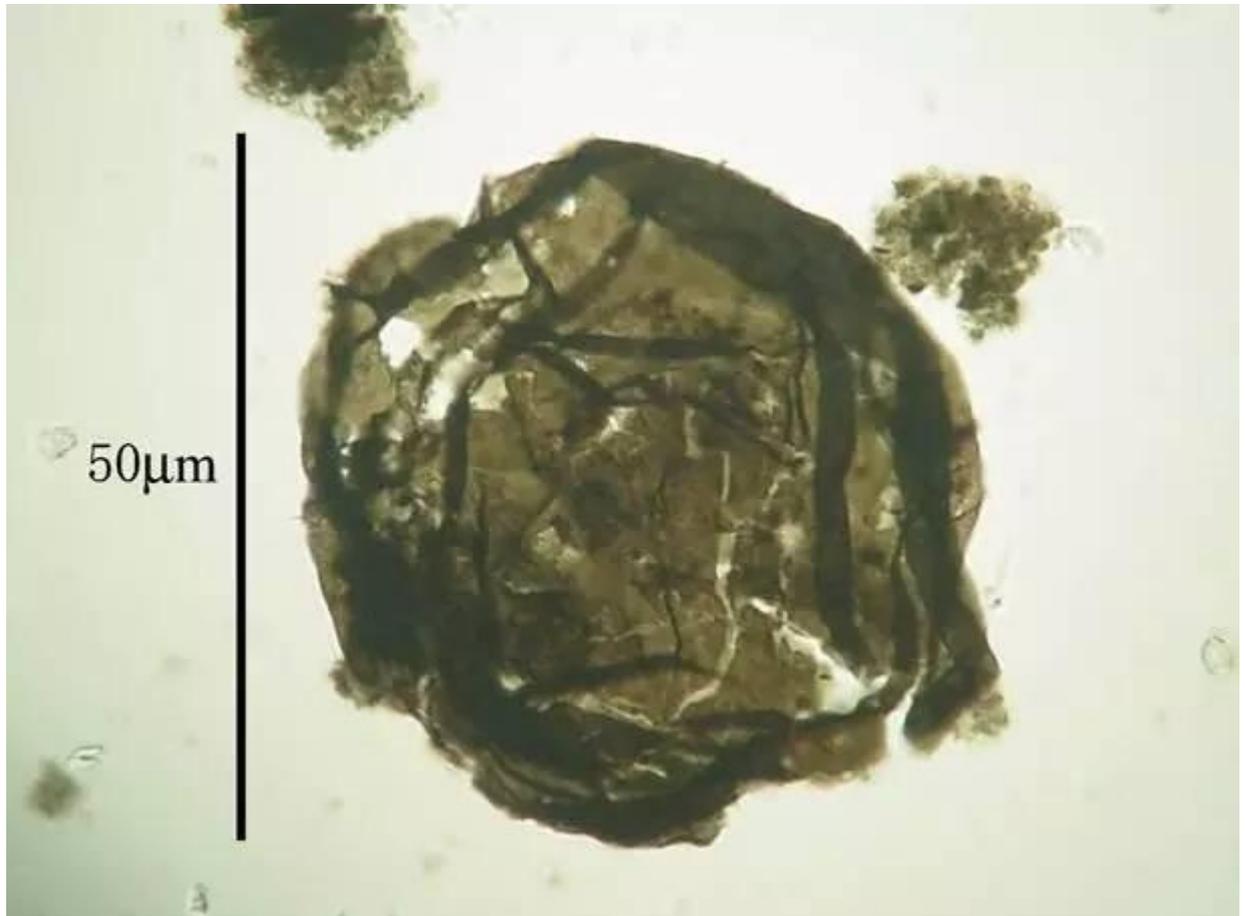
见证地球第一次大氧化事件是来自于沉积岩石的记录，距今 26—18 亿年在全球范围广泛分布的条带状铁建造（banded iron formations，简称 BIFs）。科学家们认为，这种现象是大气圈、水圈和岩石圈富氧环境下形成的，是由于海水中溶解的二价铁离子被大规模氧化成三价铁离子，从而形成氧化铁沉积。

进入元古宙，由于大氧化事件，真核细胞登上了地球历史舞台，其核心的进化乃是细胞核的形成——细胞核能够系统组织遗传物质，极大提高了变异的数量和进化速率。

真核细胞的出现为有性生殖的产生奠定基础，提高了物种的变异性，大大推进了进化的速度。它促使动物和植物分化，结构和功能复杂化，增强了生物的变异性，并导致了三极生态系统的形成，即从以异养的细菌和自养的蓝藻组成的一个二极生态系统，分化发展出由动物、植物和菌类所组成的三极生态系统。

真核生物进行有氧代谢，其有丝分裂本身就是一个需氧过程，由于真核生物不能很好地防御强烈紫外线，所以，只有在氧化大气圈形成之时、臭氧层形成之后，地球才能适合真核生物的生存。因此，真核生物的出现，表明大气圈中氧含量已经达到了一定程度。

迄今为止，地球上最早的真核生物保存了形态学方面证据的可能是产于 19 亿年前的加拿大冈福林特组燧石层中的某些球状化石。



中国天津蓟县距今 17 亿年前的最早的真核生物化石

## 大氧化事件后的停歇

第一次大氧化事件持续了 2-3 亿年后，开始出现了长期停歇，大气氧含量又跌至极低水平，以至于直到十几亿年之后的第二次大氧化事件中才出现了动物，这是为什么呢？

美国耶鲁大学 2014 年的一项研究表明，这期间地球可能沉积了大量有机物，其中深度埋藏的有机物因当时地壳剧烈变化而返回地面与氧发生反应，消耗了大量氧气，这一状态持续了十多亿年。这可能是“大氧化事件”后大气氧含量再次降低的原因。

但即使这样，已有一些研究表明，在距今 14 亿—10 亿年的中元古代中晚期，地球生态环境逐渐改善，大气中氧的含量也有所提高，出现了有性繁殖，这使得生物的演变加快，物种多样性增加。这在我国河南、山西、陕西和俄罗斯的西伯利亚、印度、澳大利亚都有发现，呈现出地球上第一次较大规模的生物大辐射。

近来更有研究指出，在河北迁西县和宽城县境内，地处燕山山脉南麓大面积出露的距今 15 亿年前后的“中元古代”沉积岩石地层中，发现了形态分异的多细胞藻类生物。其中一种最大的舌形化石长达 28.6 厘米，宽度近 8 厘米；另一种带状化石长度可达 30 厘米以上，宽度可达 4.5 厘米；部分标本有明显的底部固着器官。同时，在含大化石群的岩石中，还发现了保存精美的生物多细胞组织碎片。

## “雪球事件”

在元古代，地球还数次出现极端冷气候事件，如赫罗连冰期、奈舍冰期、斯特廷冰期和维兰杰冰期。特别是发生在前寒武纪晚期的维兰杰冰期，当时不仅陆地全部被冰川覆盖，海洋表面也几乎被完全冻结，液态水靠来自地球核心的热能支持。如果从太空看，当时的地球就像是一个巨大的“雪球”。因此，科学界将此冰河时代形象地称之为“雪球事件”。

持续的低氧过程和极端气候事件大大延缓了真核生物的进化历程，学术界认为这段漫长的地球历史是枯燥的，因为化石发现非常稀少。

## 多细胞生物大发展

距今约 8 亿年前，地球出现第二次大氧化事件，并伴随着罗迪尼亚超级大陆的分离和海平面的上升，这一时期生命呈现了快速的演化。在这个时期，多细胞生物开始成为生物界的主要力量。

此时的海洋生物主要局限于有氧的浅海环境，但底栖生活环境已经呈现多元性。

有性生殖的证据在大约 12 亿年前的红藻中就已发现，而埃迪卡拉生物群的索虫是已知最古老的进行有性生殖的动物。有性繁殖极大地提高了生物的分异性和进化的速率，促使生物多样性的的大发展。

## 多细胞动物的形态变化

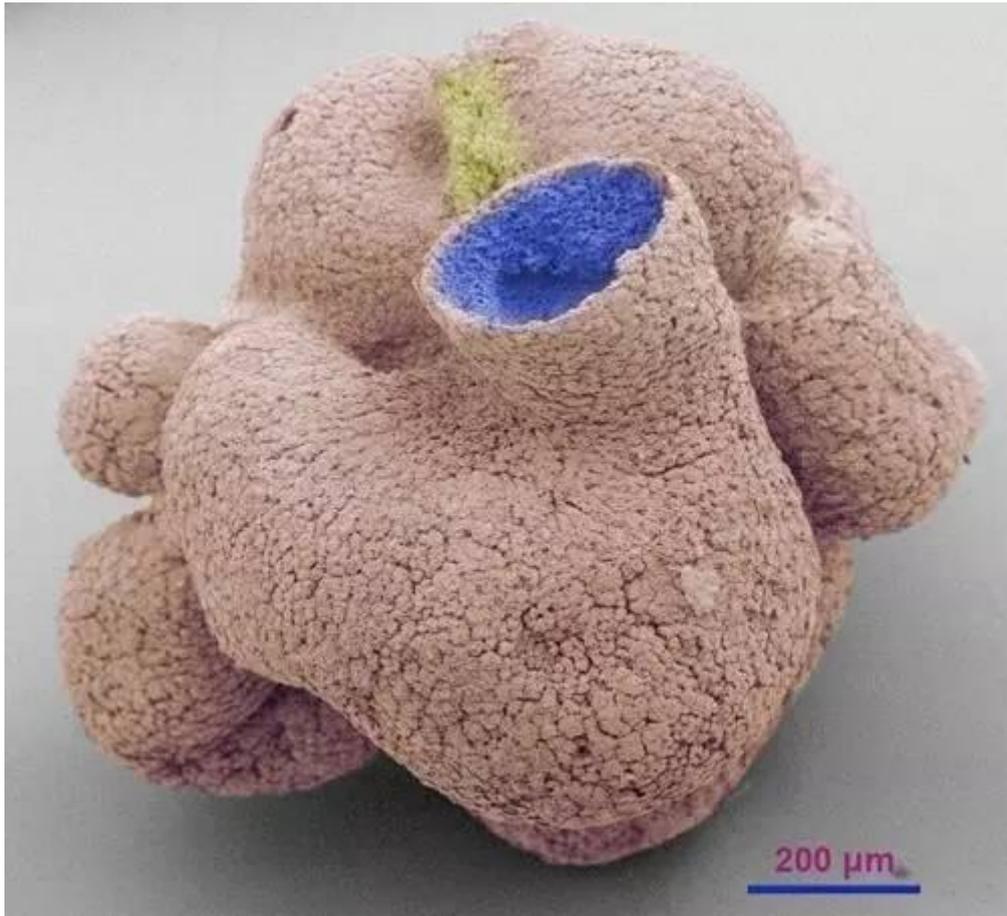
来自安徽休宁“蓝田生物群”的研究表明，在距今 5.8 亿年前，多细胞生物在形体上已然宏体化。该生物群不但包含扇状、丛状生长的海藻，也有具触手和类似肠道特征、形态可与现代腔肠动物或蠕虫类相比较的后生动物。



蓝田生物群

宏体生物的出现是与多细胞化紧密相联的。生物多细胞化以后，才有细胞的分化，进而实现器官的分化以及各种功能和形态的出现。

2015 年，中科院南京地质古生物研究所一项成果震惊了世界，该所的研究人员在贵州发现了地球上最古老的多细胞动物——贵州始杯海绵（距今六亿年前），它的发现将多细胞动物的演化历史前移了六千万年。



中科院南京地质古生物所研究人员发现的贵州始杯海绵

科学家们发现，那时的动物已经发展出了硬壳的雏形，有机质壳体开始发育，其营养形式也产生了分异。

同时，它们的身体形态和生长方式与现今很不一样，生活在距今 5.8—5.42 亿年的埃迪卡拉生物群是以辐射状生长、两极生长和单极生长 3 种类型为主。

与现代大多数动物的形体结构和变化方式不同的是，它们不增加内部结构的复杂性，只是改变躯体的基本形态（一般会变得非常薄，成条带状或薄饼状，使体内各部分充分接近外表面），在没有内部器官的情况下进行呼吸和摄取营养。

总之，晚前寒武纪末，生物界呈现了前所未有的新气象，各类生物尝试着在不同环境中的演化试验，持续不断地出现辐射演化事件，为即将到来的寒武纪生命大爆发奠定基础。

#### 参考文献

- 1、袁训来，2016. 神秘的生命起源。
- 2、殷鸿福，2015. 地球生物学简介。
- 3、尹磊明等，2013. 寒武纪大爆发前的生命世界。
- 4、Zhu, S., Zhu, M.\*, Knoll, A.H., Yin, Z., Zhao, F., Sun, S., Qu, Y., Shi, M., Liu, H. 2016. Decimetre-scale multicellular eukaryotes from the 1.56-billion-year-old Gaoyuzhuang Formation in North China. Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms11500.