第三章　生命的起源与生物的进化

第一节　生命的起源与生物的演化

一、生命的起源

关于生命的起源，学者们推测可能有两种途径。一种途径是，银河系别的星球上的生命(细菌或孢子)通过辐射压力或者附着于陨石上传播于地球，而后发展演化。所依据的基本事实是在宇宙中发现有机分子存在。到目前为止，在银河系中发现的57种星际分子中有12种是无机分子，其余45种为有机分子，其中9种有机分子是地球上或在实验室中没有发现过的，说明在宇宙中可能存在更为复杂的有机化合物，这是生命存在的物质基础。从陨石中已分析出诸如氨基酸、嘧啶、脂肪酸等复杂有机化合物，但目前还没有有关别的星球上存在生物的确切证据。

然而，多数学者认为，生物的形成和发展是在地球上进行的。地球上的无机物在特定的物理化学条件下，形成了各种有机化合物，这些有机化合物后来再经过一系列的变化，最后转化为有机体。生命产生的这一过程可以概略归纳为三个阶段(图3-1)：①原始海洋中的氮、氢等元素和水、一氧化碳、二氧化碳、硫化氢、氰化氢以及甲烷等化合物，在紫外线、电离辐射、高温、高压等一定条件影响下，形成氨基酸、核苷酸及单糖等有机化合物。②氨基酸、核苷酸等有机化合物在原始海洋中聚合成复杂的有机化合物，如甘氨酸、蛋白质及核酸等“生物大分子”。③许多生物大分子聚集而形成以蛋白质和核酸为基础的多分子体系，呈现出初步的生命现象，既能从周围环境中吸取营养，又能将“废物”排出体系之外，构成有生命的原生体。这种原生体的出现使地球上产生了生命，把地球的历史从化学进化阶段推向了生物进化阶段。对于生物界来说，这是开天劈地的第一件大事，没有这件大事，就不可能有生物界。

以往的生命科学认为，生命体是由蛋白质、糖和核酸组成的，而组成蛋白质的最小单位氨基酸又是无生命的，它既不能自我繁殖、进化，也不能控制核酸。在生命起源的化学进化中，从无生命分子到核酸蛋白这些有生命大分子之间究竟存在什么环节，在科学上一直是个混沌状态。为了弄清这个环节，各国生命起源科学家都试图在无机生命分子和核酸蛋白间找到有生命的小分子。赵玉芬教授(1996)提出了“磷酰化氨基酸是核酸与蛋白的共同起源，是生命起源的种子”的新理论体系，解决了这一难题。研究结果证实，磷酰化氨基酸可以自我繁殖，自我进化，充满生命力。它们既可以自我组装肽，同时也可以与核苷组成核苷酸。

有生命的原生质是一种非细胞的生命物质，它出现以后，随着地球的发展而逐步复杂化和完善化，演变成为具有较完备的生命特征的细胞，从而产生了原核单细胞生物。因此生物界的发展历史是与地球发展的历史密切相关，不可分割的。化石记录证实了生命是在地球上发生，生物是随地球的发展而发展演变的。

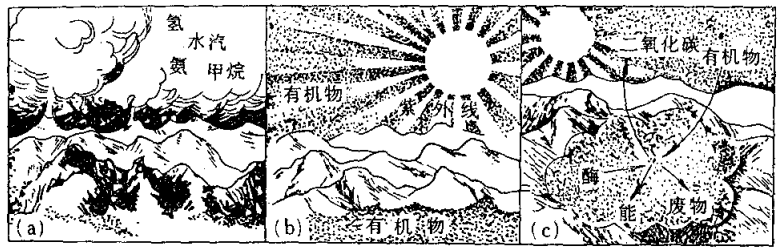


图 3-1　地球上生命起源示意图

(转引自刘本培、全秋琦，1996，有简化)

(a)原始大气；(b)有机物组成；(c)原始生命的物质交换

二、早期生物的发生和演化

保存于地球上前寒武纪岩石中的化石为最早期生物的演化提供了证据。这些化石证据表明早期生物演化存在四大飞跃，一是从非生物的化学进化发展到生物进化，二是生物的分异，三是原核生物向真核生物的演变，四是后生动物的出现。

尽管地球年龄约为 46 亿年，但生物化石仅在 38 亿年前的地层中发现。在南非东部 Barberton 镇的无花果树(Fig Tree)组的燧石(燧石年龄约 38 亿年)中发现了许多有机体，从中分离出了棒状的 *Eobactewrium islatum* 和球状的 *Archaeospheroides barbertonensis* 单细胞生物。前者可以和现代许多细菌的细胞壁结构和大小相比较。球状生物较大，直径为 17～20μm，可能是一些藻类的演化先驱。此外，在西澳大利亚皮尔巴(Pilbarn)地质时代为 35 亿年的 Warrawoona 群碳质燧石中发现了叠层石的丝状细菌。在南非昂威瓦特系(Onverwacht Series，约 34 亿年前)发现可能为蓝藻和细菌的球形或椭圆形有机体。以上这些最早的化石记录就是从非生物的化学物质向生物进化转变时出现的最早生物。

早期生物演化的第二次飞跃是其分异即多样性的增加。这可从加拿大 Ontario 西部苏必利尔湖沿岸的前寒武纪 Gunflint 组中发现的生物化石得到证明。Gunflint 组的燧石形成于大约 20 亿年前，其间出现 8 属 12 种微化石。数量最多的是具丝状结构的微化石，据其形态可分成 4 属 5 种，它们很像现代蓝绿藻中具丝状结构的 *Oscillatoria*，其中一个属与现代的氧化铁细菌 *Crenthrx* 相似。第 6 个属的微化石为 *Eoastrion*，由星状和由放射状排列的丝状体组成，与现代和古代的生物无明显的相似性，但在某些方面相似于氧化铁锰的 *Metallogenium personatum*。最为特殊也最多的为 *Kakabekia*，它有一个具短柄的球茎，上面有一个类似伞状的构造，这三部分构造的大小随种而不同。第 8 个属的有机体为 *Eosphaera*，由内外两个同心层组成。这些生物的存在证实经过 10 亿年的演化，原核生物已发展到相当繁盛的程度，这可能与后期富氧大气圈的出现有关。

早期生物演化的第三次飞跃是从原核生物演化出真核生物。在澳大利亚北方 Amadens 盆地的 Bitter Springs 组的燧石(年龄约为 10 亿年)中，发现了 4 个属的微化石。其中一个属像丝状的蓝绿藻，类似现代的 *Oscillatoria* 和 *Nostoc*。另三个属保存的内部结构像绿藻(真核生物)而非蓝绿藻。进一步的研究证实，此处共有 3 个像细菌的种，20 个可能是蓝绿藻的属和 2 个绿藻属，2 个菌种和 2 个有疑问的生物，其中的一个绿藻为 *Glenobotrydion aenigmatis*。在我国华北雾迷山组的黑色燧石(约 12～14 亿年)中发现真核的多核体型藻类，属于绿藻纲管藻

目多毛藻科。在印度、美国、加拿大等国家时代大体相同的地层中均有发现，说明此时真核生物已较多。在我国距今 17.5 亿年的串岭沟组中发现属于真核生物的宏观藻类(可能为 *Vendotaenides*)，这表明真核生物的出现大约在 18 亿年前，只是此时仍以蓝绿藻和细菌等原核生物为主，而真核生物的繁盛在 10 亿年前。

后生动物出现的时期一般认为在距今 6～7 亿年，主要是软躯体的腔肠动物、蠕形动物中的一些门类。澳洲南部埃迪卡拉崩德砂岩中的埃迪卡拉动物群(图 3-2)就是一个代表。埃迪卡拉动物群(其年代范围为 5.9～7 亿年)中，67%是腔肠动物，包括水母、水螅、锥石、钵水母类的其他类别，珊瑚虫纲(海鳃类)的代表；环节动物占 25%，节肢动物占 5%，以及其他亲缘关系不明的化石和痕迹化石。该动物群分子在西南非洲纳马群、加拿大的康塞普辛群、西伯利亚北部文德系、英国强伍德森林(Charnwood forest)地区、瑞典北部的托内湖区及我国的震旦系等都有发现。

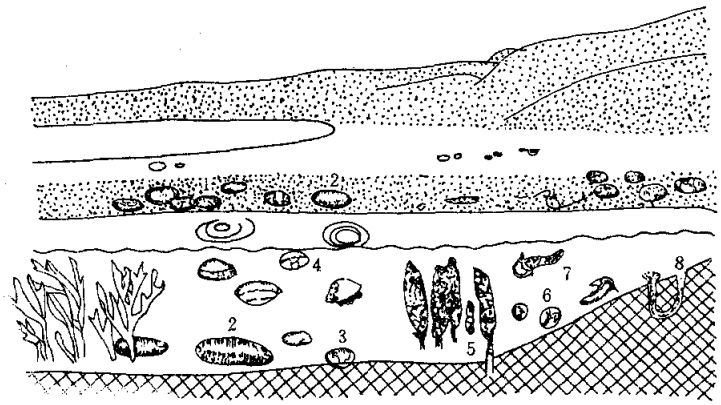


图 3-2　埃迪卡拉动物群复原图

(据 Aubouin *et al.*，1975)

1. 推测的海绵和藻类；2. *Dickinsonia*(环节动物)；3. *Tribarachidium*；4. 水母类；5. *Rangea* 和 *Charnia*；6. *Parvancorina*；7. *Spriggina* (环节动物)；8. 环节动物的虫管

三、显生宙生物的演化

显生宙生物演化的型式不同于早期生物演化。

(一) 动物界的第一次大发展

震旦纪末期出现了具外壳的多门类海生无脊椎动物，称小壳动物群，在寒武纪初极为繁盛。其特征是个体微小(1～2mm)，主要有软舌螺、单板类、腕足类、腹足类及分类位置不明的棱管壳等。代表分子有 *Cricotheca*、*Siphogonuchites* 等。小壳动物群处于一个特殊的阶段，它是继震旦纪晚期的埃迪卡拉动物群之后首次出现的带壳生物，动物界从无壳到有壳的演化是生物进化史上的又一次飞跃。

特别值得注意的是，在我国云南澄江地区的寒武系底部有一无硬壳生物群和小壳动物群的混生带，称为澄江动物群，它代表了埃迪卡拉动物群向小壳动物群的过渡。澄江动物群是我国古生物领域的重大发现之一，震动了国内外地质古生物界，成为古生物学研究的一大热点。从目前所发现的这个动物群的组成看，有正常的三叶虫、金臂虫类、水母、蠕虫类、甲壳纲、分类位置不清楚的非三叶虫节肢动物、腕足类和藻类等。保存有软体的有 *Naraoia*、水母类、

蠕虫类及非三叶虫的节肢动物等。澄江动物群内正常三叶虫无附肢保存。澄江动物群现已定名61属67种。其中许多动物的软体—软部保存极好，栩栩如生，能提供有关生物解剖、生态、亲缘等多方面的珍贵信息，比世界著名的加拿大的不列颠哥伦比亚中寒武世布吉斯页岩动物群（已被联合国教科文组织列人世界级化石遗产地名录）早了约万年，逼近了“小壳化石”大量出现的高峰期。澄江动物群中生物体造型的分异度和悬殊度都很大，真可谓“创造门类的时代”。

寒武纪初期（距今约5．7亿年），动物界出现第一次爆炸式的大发展，是以发展具有硬体的生物为特征，几乎所有的无脊椎动物门，绝大部分纲都已出现。其中以节肢动物门的三叶虫纲最为发展，约占化石保存总数的60%；其次为腕足动物，约占30%；软体动物、蠕虫、古杯、海绵及节肢动物门的其他类别约占10%。

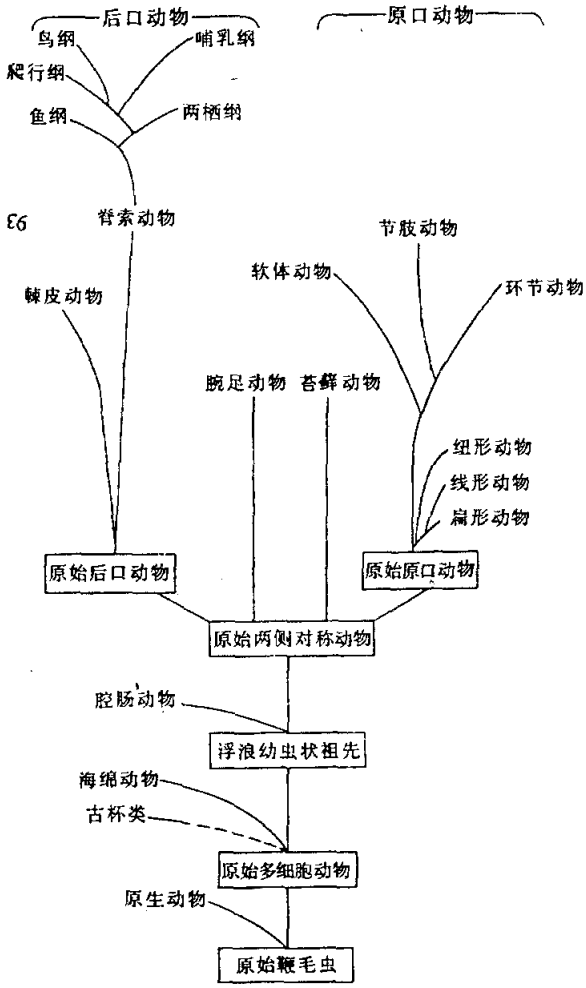


图3-3　动物界各门类的演化谱系

（据何心一，徐桂荣，1987）

（二）动植物从水生到陆生的发展

在志留纪和志留纪以前的植物都是低等的菌藻类，完全生活在水中，无器官的分化。志留纪末期至早、中泥盆世，地壳上陆地面积增大，植物界由水域扩展到陆地。此时植物体逐渐有了茎、叶的分化，出现了原始的输导系统维管束，茎表皮角质化及具气孔等，这些特征使植物能够适应陆地较干燥的环境并不断演化发展，生存空间不断向陆地内部延伸。具有叶子的植物在中泥盆世大量出现。晚泥盆世已出现显花植物的古老代表。

“鱼形”化石在奥陶纪（约5亿年）就有无颌类化石碎片的记录。有颌类最早出现于中志留世，它的出现是脊椎动物进化史上的一件大事，它标志着脊椎动物已能够有效地捕食。脊椎动物从海生到陆上水生大约从志留纪晚期开始。总鳍鱼类中的骨鳞鱼是四足动物的祖先。具明显的从总鳍鱼类向两栖类过渡性质的化石发现于晚泥盆世地层中。

完全摆脱水生变成陆生，是两栖类演化到爬行类。爬行动物在胚胎发育过程中产生一种纤维质厚膜，称为羊膜，它包裹整个胚胎，形成羊膜囊，其中充满羊水，使胚胎悬浮在液体环境中，能防止干燥和机械损伤。羊膜卵的出现使四足动物征服陆地成为可能，并向各种不同的栖居地纵深分布和演变发展，是脊椎动物进化史上又一件大事。具羊膜卵的化石记录发现于北美早二叠世的沉积中。但从两栖迷齿类到爬行类的演化，可能还要早，据推测可能在晚石炭世已完成到爬行类的演化。

(三)动物界各门类的演化谱系

生物界发生和发展的历史过程完全符合客观物质世界从简单到复杂、从低级到高级的变化规律。以动物界为例,一切最低级的动物由单细胞组成,称原生动物(图 3-3)。由原生动物演化出后生动物。海绵动物是最原始、最低等的多细胞动物,动物机体仅由两层细胞组成,细胞虽有分化,但无组织产生,在胚胎发育中,胚层细胞具逆转现象,这与其他多细胞动物不同,所以这类动物在演化上是一个侧枝,称侧生动物。腔肠动物是真正的后生动物,动物的身体由外胚层和内胚层构成,称两胚层动物。但腔肠动物仅有简单的组织分化,还没有形成典型的组织与器官,为低等的后生动物。所有后生动物都是经过这两胚层阶段发展起来的。由两胚层动物演化为三胚层动物,即动物身体由外胚层、内胚层和中胚层发育形成各种复杂的组织、器官和器官系统。从原始的三胚层动物又发展出神经系统获得充分发展的脊椎动物,最后又在脊椎动物中发展出人类。人类具有自觉的能动性,起源于动物界,是动物发展的高级阶段。

第二节　物种的形成

生物以物种作为繁殖后代的单元，依靠遗传保持物种的稳定；又以物种作为进化的单元，物种性状不断发生变异，通过隔离和自然选择等作用，旧种不断绝灭，新种不断产生。

(1) 遗传。遗传物质是基因，基因具有自身复制的能力，能使物种在各个世代中保持自身的特性。每种个体有一定量的基因，一居群中所有个体的基因总和构成基因库。一个物种的基因库基本上是稳定的，所以物种的特征能世代遗传。比如，人生人，马生马，种瓜得瓜，种豆得豆，都是遗传现象。

(2) 变异。同种个体的基因类型有不同程度的变化，所以各个个体之间都有差异。基因的突变和重组是个体发生变异的主要原因。人们常说的“一母生九子，子子个不同”就是这个道理。

(3) 隔离。隔离包括地理隔离和生殖隔离。地理隔离是指由于水体、沙漠、山脉的阻挡或遥远的地理距离等原因造成的隔离。同种的不同居群生活在不同地区，彼此孤立，使不同居群的个体之间无法杂交，失去基因交流的机会，从而导致隔离的各居群间产生不同方向的变异，逐渐形成地理亚种。如我国的华南虎和东北虎，由于长期生活于不同的地理环境，在体型大小、毛色深浅及毛的长短等方面都产生了明显的差别，已形成了两个地理亚种。地理亚种进一步发展，就会形成新种。生殖隔离是指居群间由于基因型差异使基因交换不能进行，这包括生态隔离、季节隔离（交配期不同）、行为心理隔离、机械隔离（生殖器官不相配）、杂交不育、不成活等。

(4) 自然选择。生物与环境是一个统一整体，生物必须适应变化了的环境，“适者生存，不适者淘汰”。性状变异是自然选择的原料，通过遗传积累加强适应环境的变异，促使居群的基因库发生重大变化，为形成新种准备了条件。

自然选择的一个生动实例就是达尔文研究的马德拉群岛上的甲虫。他发现 550 个种中有 200 个种的翅膀不会飞，会飞的则以翅膀非常强大的甲虫为主。他认为，原来这岛上的甲虫都是会飞的，后来有些甲虫的翅膀发育稍不完全，或者由于习性怠惰，很少飞翔，经过若干世代，翅膀便退化，丧失了飞翔能力。群岛常遭强烈的风暴袭击;每当海风暴起,不能飞翔的甲虫能够很好地隐藏,直到风过了以后才出来。而在空中飞翔的甲虫则常常被海风吹到海里,葬身碧波。这样一来,前者获得了最好的生存机会,保留下来 ,不断地繁衍后代 ；后者则不断

被风浪淘汰；只有那些翅膀非常强壮，能够抵抗风暴的类型才能保留下来。

(5)微观演化(microevolution)与宏观演化(macroevolution)。微观演化是指由线性分支(如种族分支或物种形成)或种系转换引起的发生在种内乃至新种形成的各种变化。宏观演化是指在自然选择和基因突变作用下引起的大尺度的基因型和表现型的变化。二者在时间尺度上有明显区别。微观演化发生在相对较短的时间内(如几个世代的生态时间)，而宏观演化通常是在地质时间内才发生。进一步讲，微观演化是发生在种内或属一级水平的现象，而宏观演化则与更高一级的分类单元的现象相关(比如林耐谱系中的科、目、纲等)。

(6)成种方式。物种形成的方式有两种，一种是渐变式，或称线系渐变，一种是突变式，或叫成种作用。前者认为自然选择使遗传变异逐渐积累，最后形成新种。新种与旧种之间有一系列过渡类型。后者认为成种过程是突然发生的，新种与旧种之间无中间类型；而且在一个种的存在时期其性状无重大变化，表现为长期稳定，只有在成种过程中发生性状的质变。

达尔文关于物种形成的学说——渐变论：达尔文认为物种形成的主要原因是遗传、变异和自然选择。自然选择作用使微小的变异在极其漫长的世代遗传中积累出现性状分歧，进而在遗传中积累达到物种的等级，就形成了物种(图 3-4)。他认为自然界没有飞跃，达尔文的这种观念被称为渐变论。从魏斯曼的“种质论”到孟德尔的基因学说是现代新达尔文主义的基础。该学说主要认为基因及突变是自然选择的最根本的原料，自然选择利用这些原料，不断地用作形成新种的物种。近代已发展到分子遗传学。

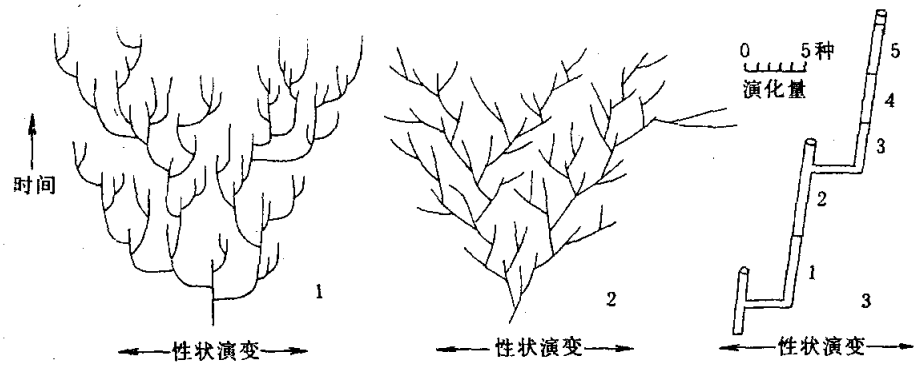


图 3-4　演化的两种模式 (摘自 Stanley，1979)

1. 间断平衡论模式；2. 渐变的模式；3. 突变和渐变造成的演化量比较

间断平衡论——突变论：主要针对线系渐变论，即达尔文的物种渐变论而提出的。间断平衡论认为生物演化是突变(间断)与渐变(平衡)的辩证统一(图 3-4)。它所研究的是生物演化的速度和方式。关于演化方式，间断平衡论认为，重要的演变与分支成种事件同时发生，而不是主要通过种系的逐渐转变完成的。关于演化速度，间断平衡论强调以地质时间的观点来看，分支成种事件是地史中的瞬间事件，并且在分支成种事件之后通常有一个较长时期(几百万年)的停滞或渐变演化时期。

间断平衡论强调成种作用的重要性，主要的演化过渡集中在成种时期。而渐变论者认为大多数演化是由线系变异完成，迅速分异的成种过程起的作用较小，间断平衡论不否认线系演化，但认为它属次要地位。

第三节　生物进化的一些特点和规律

一、生物进化的一些特点、规律

(1) 进步性发展：进化论已经阐明，一切生物都起源于原始的单细胞祖先。以后在漫长的地质年代中，由于遗传、变异和自然选择，生物的体制日趋复杂和完善，分支类别越来越多。地层中的化石记录虽不完备，但足以说明自从生命在地球上出现以来，生物界经历了一个由少到多、由简单到复杂、由低级到高级的进化过程，这是一种上升的进步性的发展。同时生物发展是有阶段性的，这种阶段性进化是指生物由原核到真核，从单细胞到多细胞，多细胞生物又逐步改善其体制的发展过程。生物进化的分支发展是从少到多的分化进化，在分支发展过程中生物不断扩大其生活空间，向各种不同的生活领域发展其分支。就整个生物界来说，在其进化过程中，经历了三次重大的突破性的分支发展，最早的一次是从异养(以周围环境中的有机质为养料)到自养(本身含叶绿素，能进行光合作用合成有机养料)的发展，第二次是从两极(合成者和生产者)到三极(生产者，分解者和消费者)的发展，第三次是从水生到陆生的发展。

(2) 进化的不可逆性：生物界是前进性发展的，生物进化历史又是新陈代谢的历史，旧类型不断死亡，新类型相继兴起；已演变的生物类型不可能恢复祖型，已灭亡的类型不可能重新出现，这就是进化的不可逆性。例如脊椎动物中由水生的鱼类经过漫长的地质历史和许多演化阶段演化为陆生的哺乳类，哺乳类中如鲸类虽回到水中生活，却不可能恢复鱼类的呼吸器官——鳃，也没有鱼类的运动器官——鳍，鲸的前肢仅仅外貌像鳍，而其骨骼构造完全不同。

(3) 相关律和重演律：环境条件变化使生物的某种器官发生变异而产生新的适应时，必然会有其他的器官随之变异，同时产生新的适应，这就是相关律。例如生活在非洲干旱地区的长颈鹿的祖先，由于长期采食高树上的叶子，颈部不断伸长，前肢也随之变长。

生物每个个体从其生命开始直到自然死亡都要经历一系列发育阶段，这个历程就是个体发育。系统发生是指生物类群的起源和进化历史，生物类群不论大小都有它们自己的起源和发展历史，系统发生与个体发育是密切相关的，生物总是在其个体发育的早期体现其祖先的特征，然后才体现其本身较进步的特征。因此可以说个体发育是系统发生的简短重演，这就是重演律。

(4) 适应、特化、适应辐射和适应趋同：生物在其形态结构以及生理机能诸方面反映其生活环境及生活方式的现象，是自然选择保留生物机能的有利变异，淘汰其不利变异的结果，是生物对环境的适应。一种生物对某种生活条件特殊适应的结果，使它在形态和生理上发生局部的变异，其整个身体的组织结构和代谢水平并无变化，这种现象叫做特化。例如哺乳动物的前肢，在特定的生活方式影响下，有的变为鳍状，适于游泳；有的变为翼状，适于飞翔；有的变为蹄状，适于奔驰。

生物在其进化过程中，由于适应不同的生态条件或地理条件而发生物种分化，由一个种分化成两个或两个以上的种，这种分化的过程叫做分歧或趋异。如果某一类群的趋异不是两个方向，而是向着各种不同的方向发展，适应不同的生活条件，这种多方向的趋异就叫做适应辐射。如爬行动物在中生代初就向各种生活领域辐射，在陆地上有各种恐龙，在水中有鱼

龙和蛇颈龙，以及在空中有翼龙(图 3-5)。与适应辐射相反，适应趋同是指一些类别不同，亲缘疏远的生物，由于适应相似的生活环境而在体形上变得相似；不对等的器官也因适应相同的功能而出了相似的性状。如鱼龙、海豚和鲸都是鱼形；腕足类的李希霍芬贝、双壳类的马尾蛤和单体珊瑚同形(图 3-6)都是趋同的著名例子。趋同只是一种现象，不能形成进化谱系。

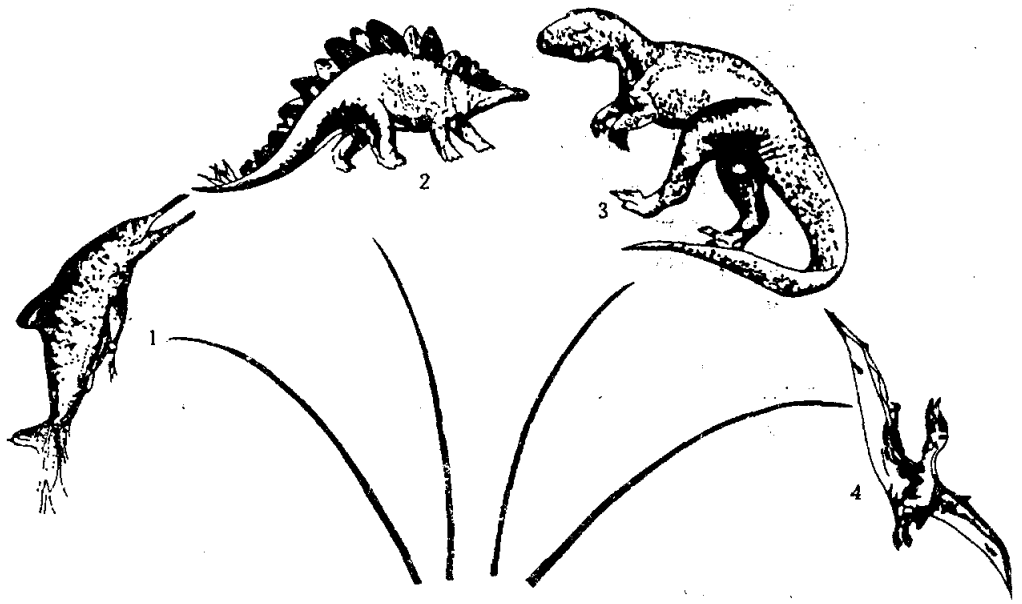


图 3-5　中生代爬行动物的适应辐射（据何心一，徐挂荣等，1993）
1. 海中游泳的鱼龙；2. 陆上食草的剑龙；3. 陆上食肉的跃龙；4. 空中飞翔的翼龙

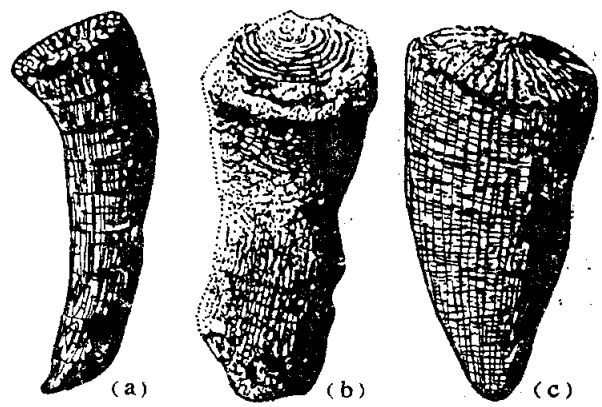


图 3-6　趋同现象的实例（据何心一，徐挂荣等，1993）
(a) 单体珊瑚（锥状）；(b) 李希霍芬贝（*Richthofenia*）；(c) 固着蛤类马尾蛤（*Hippuritella*）

二、生物演替

(1) 种系代谢和生态代替。绝灭是指生物完全绝种而不留下后裔，如果某生物种演变为新种而在地史中消失，这叫假绝灭。古生物学资料表明，许多生物类群诸如三叶虫、笔石、菊石、恐龙等，曾在地质历史上盛极一时，后来随时间推移而消失，没有留下后代。已知的古生物约 2 500 科，其中 2/3 已绝灭。什么原因使得大量的物种在生物进化过程中趋于绝灭？在

生物进化过程中旧的物种不断灭亡，新的物种不断出现是自然发展的必然规律。

在阶段性进化过程中，新种总是在旧种的基础上产生，许多旧种被其子种所代替而衰退灭亡，这叫种系代谢。生物的横向分化进化，是通过适应环境和占领环境而进行的，是争夺生活领域的斗争。在这个斗争中，一些生物胜利了，扩大或取得了新的生境；一些生物失败了，丧失了生活领域以至退出了历史舞台，这叫生态代替。

(2) 背景绝灭与群集绝灭：地史上任何时期都有一些生物灭绝，使总的平均绝灭率维持在一个低水平上（通常每百万年 0. 1～1 个种，依门类而不同），这叫背景值绝灭（background extinction)。与之相适应，在一些地质时期，有许多门类的生物近乎同时绝灭，使生物界绝灭率突然升高，这叫群集绝灭或大规模绝灭（mass extinction)。地史上大规模绝灭共有七次（前寒武纪埃迪卡拉动物群的消失；寒武纪-奥陶纪之交；奥陶纪-志留纪之交；晚泥盆世法门期-法拉期之交；二叠纪-三叠纪之交；三叠纪-侏罗纪之交；白垩纪-第三纪之交），其中最重大的绝灭事件发生在二叠纪-二叠纪之交。其次是白垩纪-第三纪之交（图 3-7)。

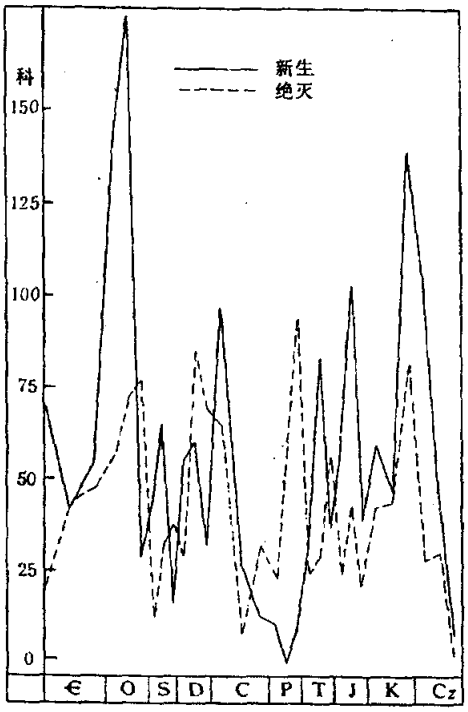


图 3-7 海洋底栖无脊椎动物科的新生与绝灭统计图（据 Valentine，1969）

导致生物大规模绝灭的事件，大致可分为地球成因事件和地外成因事件两大类。前者包括火山爆发、地磁场倒转、大规模海退、板块运动、温度变化、盐度变化、缺氧事件等；后者如超新星爆发、小行星撞击、太阳耀斑等。

应当指出，突变对于生物是外因，外因不可能在任何时候都起主要作用，生物大规模绝灭肯定有内在因素。

三、生物复苏

大绝灭后的生物群或生态系，通过生物的自组织作用和对新环境的不断适应，逐步回复到其正常发展水平的过程，即称为生物复苏。经历大绝灭事件后，多数生物绝灭、消失，正常的生态系遭受破坏，只有少数对绝灭期的环境具有特殊适应能力的类型，能够在大绝灭后残存下来，并在所空出的生态系中占据优势。但空间的生态领域也有利于一些进步类型的新生、分异和快速发展，从而迅速取代残存的古老类型，形成新的生态平衡，并开始了新的繁荣阶段。大绝灭后的生物系复苏是一个较新的课题。显生宙多数大绝灭－残存－复苏过程都要延续 1～3Ma，它们都是由一系列逐步加速的绝灭和复苏事件所组成。大绝灭后残存和复苏期的长短，除了与大绝灭后环境系统和营养结构的重建有关外，还直接与残存类型的特征、数量和分异度有关。祖先类型产生于大绝灭时的高压环境，它们是最成功的穿越大绝灭者，是随后复苏的原动力。不同类型的生态系，在大绝灭后具有不同的复苏速率，通常呈现一种阶状渐进的方式，生态系复苏的早期还包含了各种残留类型的一些很小的短期绝灭事件。