

生命科学导论——生态与环境

(2021 秋季学期)

第 1 讲 生命的起源与 进化

沈显生

中国科学技术大学生命科学学院

133 3929 4637 shenxs@ustc.edu.cn

生物进化论的重要性

- 若不从进化角度出发，则生物学中的一切问题将毫无意义。（进化论已经成为生物学精髓。）

—— 俄裔美国遗传学家：杜布赞斯基

主要内容

- 一、生命是什么？
- 二、生命起源的几种假说
- 三、生命起源的三个阶段
- 四、生命起源的主要证据
- 五、生物进化论的发展

一、生命是什么？

➤ 生命是什么？

生命的生物学定义：生命是生物体所表现出来的自身繁殖、生长发育、新陈代谢、遗传变异以及对刺激产生反应等复合现象。

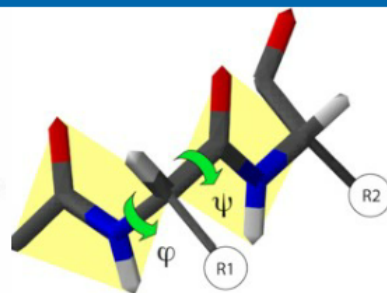
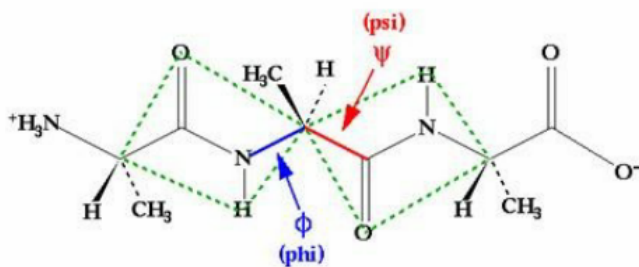
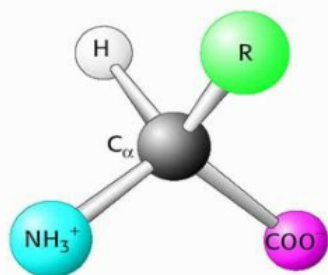
➤ 生命本质是什么？

1、前分子生物学时代

生命是活力（亚里士多德）

2、分子生物学时代——生命是机器

生物大分子类比是机器，生物体类比是机器。



受笛卡尔机械论的影响，“动物就是一台机器。”



肽链
一级结构



α螺旋
二级结构



折叠
三级结构
亚基



四级结构：
功能蛋白质

血红蛋白称“分子肺”

图片来自网络

3、基因组时代——生命是信息，生命是算法

生命只不过是一组碱基编码的信息，是各种代谢、调节和神经通路的选择算法。

DNA → mRNA → 蛋白质 → 细胞 → 个体 → 种群 → 群落 → 生态系统

4 种
脱氧核
糖核酸

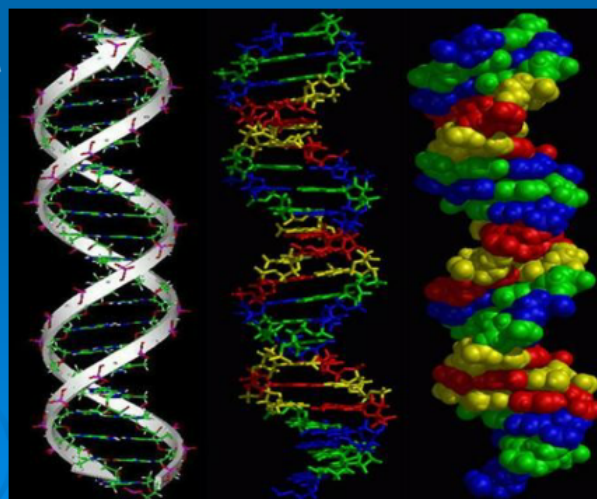
4 种
核糖核酸

20 种
氨基酸

生命的
功能单
位

中心法则

生命具多套信息系统！



DNA 暗藏第二套编码

(Science, 2013.12.13)

- 遗传密码利用了称之为密码子的 64 个碱基字母表。华盛顿大学研究小组发现，有一些密码子，具有两重生物学含义，一种与蛋白质序列相关，另一种与基因表达的控制相关（**何时、何地表达，环境是否合适?**）。

合子发育何时开始自己进行调控?

染色质并不像我们想象那样折叠 **Science, 2017-7-28**

染色质直径 5-24nm （原来认为 30-120 nm）；形态各异，灵活弯曲，分裂间期分布散乱；有丝分裂时初生结构没有改变。

基因组信息能够说明什么？

模式生物：作为实验模型以研究特定生物学现象的动物、植物和微生物。从研究模式生物得到的结论，通常可适用于其他生物。

逆转录病毒、大肠杆菌、酵母、果蝇、线虫、斑马鱼、小鼠、拟南芥、水稻……

大肠杆菌

酵母

人

●碱基数： 4.6×10^6 bp

●碱基数： 1.3×10^7 bp

●碱基数： 3×10^9 bp

●基因数： 4500

●基因数： 6600

●基因数： 30000

●蛋白质数： 2000-3000

●蛋白质数： 4000-5000

●蛋白质数： 约 20000

(人类成纤维细胞)

基因组研究的结论

结论 1：越是高等的生物，基因数目和蛋白质数越多

结论 2：基因数多少，不能简单对应生物体复杂性。

- 线虫和果蝇的基因数（约 12000）仅是酵母（约 6000）的两倍；
- 人和鼠的基因数（约 3 万），是线虫和果蝇的两倍。
- 发现人、鼠之间的基因数目差别不大，但人、鼠之间的表型差别却如此的显著，这说明基因数目不足以反映生物的全部复杂性。
- **结论 3：越是高等的生物，非编码 DNA 所占比例越大。**

（人类基因组中，有 **95% DNA** 不参加编码蛋白质）

“垃圾 DNA” 不是“垃圾”，为非编码 DNA

- 2018-6-14，**Science** 报道：位于小鼠离 **Sox9** 基因超过 50 万个碱基处的被称为 **enhancer 13**（**Enh13**，增强子 13）的一小段 DNA（**垃圾 DNA**）能够在适当的时机促进 **SOX9** 蛋白的产生，以触发睾丸的发育。当研究人员从**雄性小鼠**中删除 **Enh13** 后，**Sox9** 的活跃度随之降低，小鼠长出了**卵巢和雌性生殖器**，发生**性逆转**。

人类基因组后续研究的最新成果

2020-7-29 Nature

- 2003-2017 分 3 阶段完成测试研究。人类基因组中，具 20225 个蛋白质编码基因， 37595 个蛋白质非编码基因。人类基因调控元件 90 万个。
- 小鼠基因组中，具 21978 个蛋白质编码基因， 32168 个蛋白质非编码基因。小鼠基因调控元件 30 万个。

生命的同源共祖

（因原核生物的基因水平转移导致起源复杂，真核生物为单起源—威尔斯《进化论的圣像》2006）

- 1、生命起源于水体（海洋）， 并是热起源。
- 2、DNA 是遗传物质； DNA 复制使用模板和碱基配对机制； 使用三联体密码子把 RNA 翻译成蛋白；
- 3、将 DNA 转录成 RNA 使用有同源催化机制的 RNA 聚合酶； 使用 rRNA、 tRNA 和核糖体蛋白的混合物来翻译蛋白质；
- 4、ATP 作为细胞内能量储存和合成 DNA、 RNA 的能量来源；
- 5、细胞质被包在半透膜内， 营养和废物可以通过细胞膜；
- 6、**生命是什么？是由物质、能量和信息组成的依赖于环境的开放系统，生命体是液晶质的。**

二、生命起源的几种假说

生命起源是一个神话般的概念，它并非不真实，只是使人深感神秘。（Margulis, 2009）

（一）神创论

据《圣经》说上帝在7天内造出了万物，程序如下：

- 第一日，神在黑暗、浑沌和水的大地创造**光、昼夜**。
- 第二日，神创造天，将上面的水和下面的水分开。
- 第三日，神分离陆地和海洋，创造出**种子植物**。
- 第四日，神创造出日、月和星星。
- 第五日，神创造出水生动物和飞鸟。
- 第六日，神创造出牲畜、昆虫、野兽和男女。
- 第七日，神安息了。

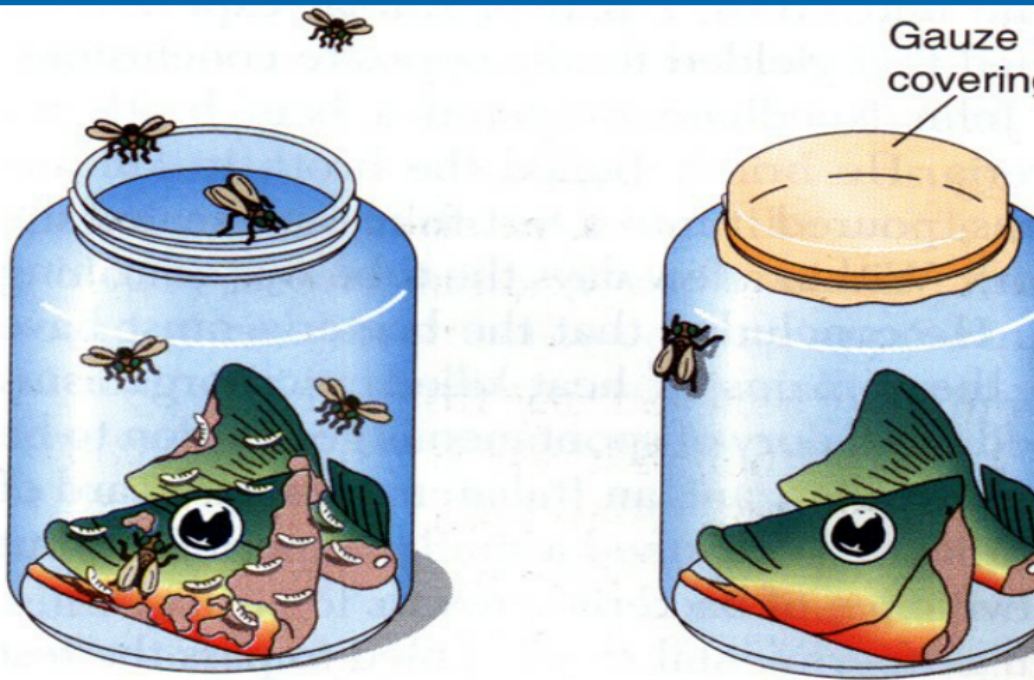
达尔文在1836-1839间逐渐认识到《旧约全书》有明显伪

（二）自生论

- 18世纪以前的粗浅观察：“腐肉生蛆，腐草化萤”
- ✎ 从垃圾和粪坑里自发地产生了蛆和苍蝇
- ✎ 从小池塘和沼泽地中自发地出现了蝌蚪和青蛙
- ✎ 从潮湿的土壤里钻出了老鼠（没有对照实验）
- ✎ 植物只能通过种子的萌发才能产生（没有显微镜，未发现孢子。1665年，胡克利用显微镜发现了细菌，人们认为细菌可以自生。）
- ✎ 卵的孵化产生了昆虫和家禽等

自生论认为：生命是自然界中随机的自然发生的。

(意) Redi 批驳自生论实验 (1668)



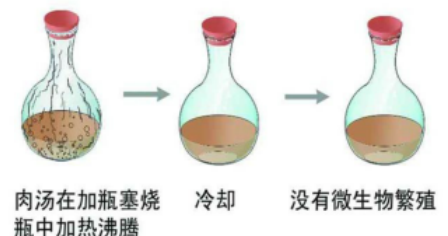
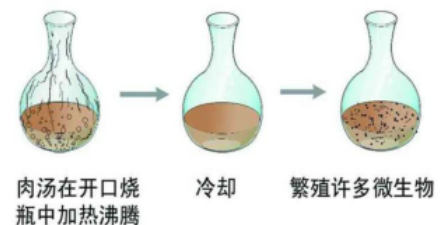
意大利医生 F. Redi 用实验证明腐肉不能生出苍蝇——批驳“腐肉生蛆”。1668年，发表《昆虫发生的实验》，发现不同的蛹孵化出不同苍蝇。

1765年，意大利科学家 Spallanzani 的实验

- 置于烧瓶中的肉汤加热沸腾后让其冷却，开口的烧瓶中很快就繁殖生长出许多微生物；但加了瓶塞与外界隔离的烧瓶中就没有出现微生物。加热不同时间，发现灭菌效果不同。
- 这一实验结果为解决上述的争论提供了重要的线索，但**自生论者不服气**，认为没氧气。
- 法国一位厨师根据这方法保存食物，最终**1810年**申请**罐头专利**。

批驳自生

论



(法) Pasteur 的实验

1860 年，巴斯德用实验证明肉汤不能生出微生物批驳了自生论。



遗憾的是，他认为，在生命物质与非生命物质之间存在不可逾越的鸿沟。相信**赫胥黎**的生源论。

1953，发现 DNA 结构的克里克，在《生命本身》一书说：“生命本身复杂的异乎寻常，它必定是从外部空间来到地球的。”属于泛生论。2020-9-15 中央电视台新闻联播，欧洲天文学家在金星大气层发现磷化氢，金星上具生命。

生命起源于外星球的泛生论：1969.9 墨尔本北部的默奇森（Murchison）天空爆炸的陨石中，发现了氨基酸和核酸成分（陨石碎片落入谷堆中）。

三、生命起源的 3 个阶段

1. 元素演化—— 2. 化学演化—— 3. 生命起源

➤ **1. 元素演化：属于星球演化。**根据“人存原理”（1974）， $E=0.007$ （黄金值）。地球处于太阳系黄金带（有液态水）。38 亿年来，生物为什么没有脱离地球？因自然选择让生物必须依靠地球独特环境。

➤ **2. 化学演化：无机物——有机物。**俄国科学家 Oparin 和英国科学家 Haldane 提出，原始地球环境可以产生组成生物体的单糖、脂肪、氨基酸和核苷酸等分子单元，但还没有出现真正的生命，这一时期称为化学演化期或前生物期。

有机分子不对称（对称破缺）如 L-氨基酸，D-葡萄糖，D-核糖，D-脱氧核糖。

对称破缺在生命起源中的作用

---- 胡文耕《生物学哲学》2002

➤ 1. 没有对称破缺就没有无机自然界的演化

大爆炸前无四种力：引力、电磁力、弱力、强力。演化顺序：先是强力与弱力分开；电磁力与弱力分开。引力在宏观尺度起作用，核力在微观尺度起作用。

➤ 2. 对称破缺在生命起源中也会起着重要作用

➤ 3. 有机自然界的进化也是由对称破缺来标志

没有对称破缺和复杂性，就没有进化。生物体制进化从对称走向不对称。球辐对称、辐射对称、两辐对称、两侧对称。心脏的系统发育。

生命起源的研究历史

—— 胡文耕《生物学哲学》2002

➤ ① 假说形成时期（1924-1952）

1924 Oparin 《生命起源》论文发表，
1929 Haldane 《生命起源》论文发表

➤ ② 实验模拟时期（1953-1984）

1953 Miller 合成实验（自 1860 巴斯德实验后少有进展）

➤ ③ 寻找最初复制分子时期（1984--）

1983 Cech 和 Altman 核糖核酸酶的发现，1986 RNA 世界

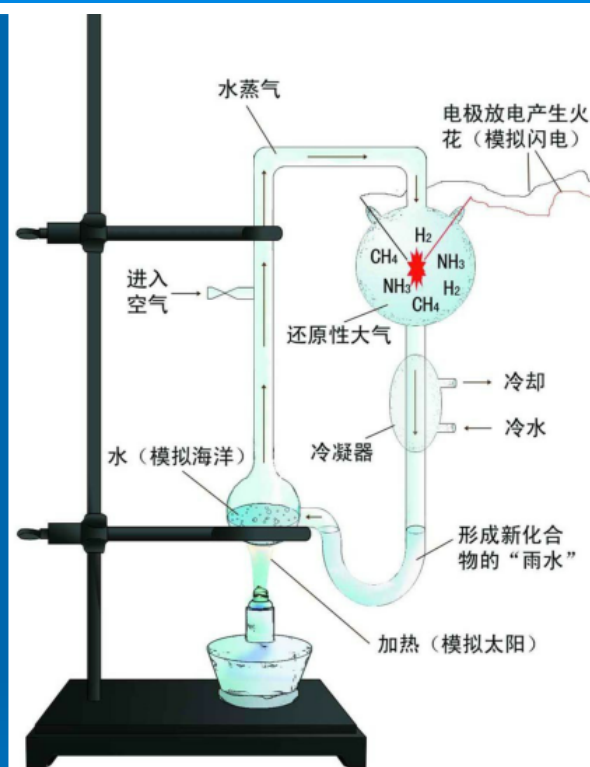
无机物合成有机物的人工合成实验

(打破无机界与有机界的界线)

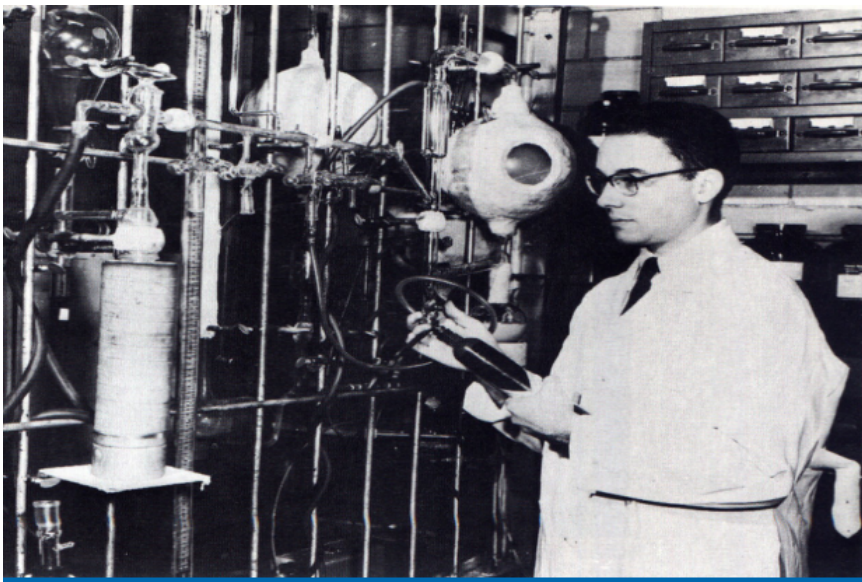
- 1850 用甲酰胺和水在紫外线和电火花合成丙氨酸;
- 1860 (1828?) 加热氯化铵和氰酸银生成尿素;
- 1861 混合甲醛和氢氧化钠合成糖浆; $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ 尿素 = 氰酸铵
- 1926 合成尿嘧啶; 为同分异构体
- 1953 合成多种氨基酸;
- 1960 氢氰酸和氨水合成腺嘌呤;
- 1962 a- 脱氧核糖;
- 1965 结晶牛胰岛素。

● Urey 和 Miller 的实验

- 1953 年, 美国芝加哥大学的研究生 Miller 在导师 Urey 指导下, 根据原始地球的还原大气条件设计了一套密闭循环实验装置, 模拟和验证了非生命有机分子在原始地球环境中生成生物分子结构单元的化学动力学过程。
- 一周后, 获 20 种有机物, 检测出丙氨酸和甘氨酸共 4 种氨基酸、不同有机酸、HCN 等。
- 由 5 个 HCN 可合成 1 个腺嘌呤。



实验的意义: 把生命起源的讨论由哲学思考上升到实验科学的范畴。同时, 支持生命起源的“原始汤”假说。



S. Miller (1953 年, 23 岁) 当时相信早期大气是还原性的 (由奥巴林-霍尔丹在 1920 年代提出)

但是, 1977 年人们得出结论, 早期大气是中性的 (火山释放的气体), 水蒸气 (氢 + 氧)、二氧化碳 (碳 + 氧)、氮、氢。现有地球大气是氧化性的。从 1977-1998, 多篇文章否定了米勒实验。—— 威尔斯《进化论的圣像》2006, P18-27

利用计算机模型模拟单个原子之间的相互作用, 通过引入处于凝聚态的各 8 个水分子、氨分子与甲烷分子, 以及 10 个一氧化碳分子与 5 个双原子氮。电场可能在把原始分子转变成氨基酸方面起到了一个关键作用。(Antonino Marco Saitta and Franz Saija. Miller experiments in atomistic computer simulations. PNAS, September 8, 2014)

3. 生命起源: 生物大分子——细胞的 4 个步骤

➤ 从生物大分子演化到**细胞**包括 4 个步骤:

(1) 生物大分子和催化作用形成;

(2) 有机物聚合成多聚体, 整合为多分子体系颗粒 (原球体, 奥巴林假说); “地球上的生命起源涉及一种脂肪酸囊泡, 内部自发性 RNA 复制。这种自我复制需要高浓度的镁离子, 它们会让脂肪酸膜不稳。发现柠檬酸、异柠檬酸可将脂肪酸膜与镁离子进行隔绝。” (Science 2013.11.29)

(3) 多聚体代谢与**遗传体系**的形成;

(4) 细胞膜的出现。

遗传系统的起源——RNA 起源假说（1986）

- **DNA、RNA、多肽链**——哪一种是原始生命最早贮存遗传信息并指导蛋白质合成、同时还能自我复制的物质呢？实验显示，试管中 RNA 链可以自发地延伸和复制。2006，利用 53 核苷酸的 RNA 反转录合成 DNA。
- **某些 RNA 具有像酶一样的化学催化活性**（1989 年诺贝尔奖）。
- **RNA 最可能成为最早的遗传物质，称裸基因**。在进化早期的 RNA 世界里，很可能基因与酶之间无区别（诺布尔，2010）。
 - ① 前生物化学进化阶段；② RNA 世界阶段；③ 核酸 - 蛋白质为基础的生命世界阶段。
- DNA 就其本身而言是死的，RNA 既可复制本身，又可催化（马古利斯，生物共生行星，2009）。

“先有鸡还是先有蛋”的问题尚无定论

2015.1.2 Science 报道：在没有 DNA、RNA 条件下，蛋白质可以指导氨基酸可组装新的蛋白质。问题又回到了原点。

物理学家戴森（F. Dyson）：第一个生命是从分子共生体系、相对无定形的蛋白质和超大分子 RNA 的混合物而起源的。（Margulis, 2009）

最新观点：生命的开端不是一个自我复制的分子，而是一张新陈代谢的网络。（[美]A. 瓦格纳著，适者降临，浙江人民出版社，2018）

（4）细胞膜出现（半透 - 活性）— 现代生物的最早共同祖先—原核细胞（远古原核细胞）。（Nature, 2008.12. 18）细胞分裂出现，进入生物进化

生命起源与生命进化是两个完全不同概念。

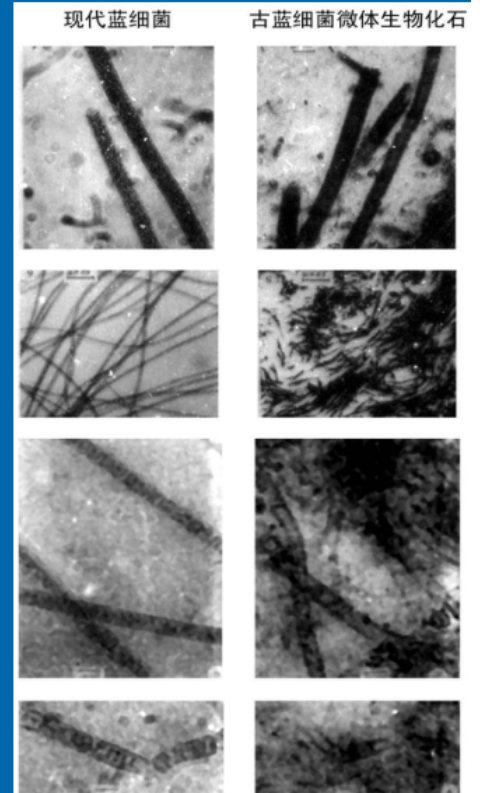
生命进化三要素：基因突变 & 重组，环境选择，时间

四、生命起源的主要证据

(一) 原核细胞的起源

研究途径：研究微化石；比较所有生命的共性；设法重新制造一个细胞。

- 38-35 亿年前，原始的地球缺乏氧气，大气中存在着许多还原性气体如 NH_3 , CH_4 , 水蒸气 (H_2O)，也可能有 CO_2 , H_2S 等和少量 H_2 。30 亿年前地球上“原始汤”。
- 前寒武纪沉积岩薄片中存在类似细菌大小的微体古生物化石，经鉴定主要是一些细菌、蓝细菌（蓝藻）等。
- 最早水中的原核生物具有光合放氧的能力和抗紫外线辐射的能力（蓝藻席子）。



叠层石中的微化石

鲨鱼湾海滩



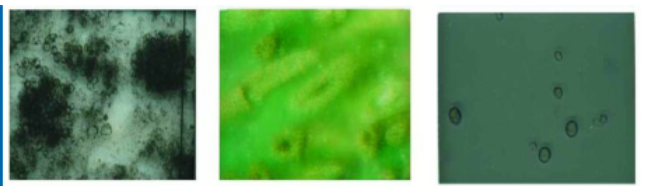
2015-10-20 Science alert

在鲨鱼湾发现锆石中石墨（碳）是 41 亿年前的。地球生命起源需往前推 3 亿年（41 亿）

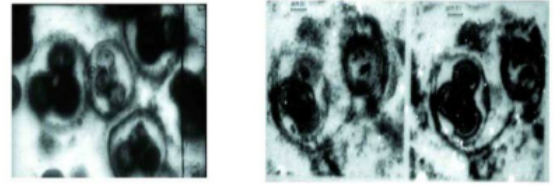
从 35 亿年前到 20 亿年前中间相隔 15 亿年之久，为什么氧的积累如此缓慢？



(二) 真核生物的起源



早期出现的原核生物(化石)



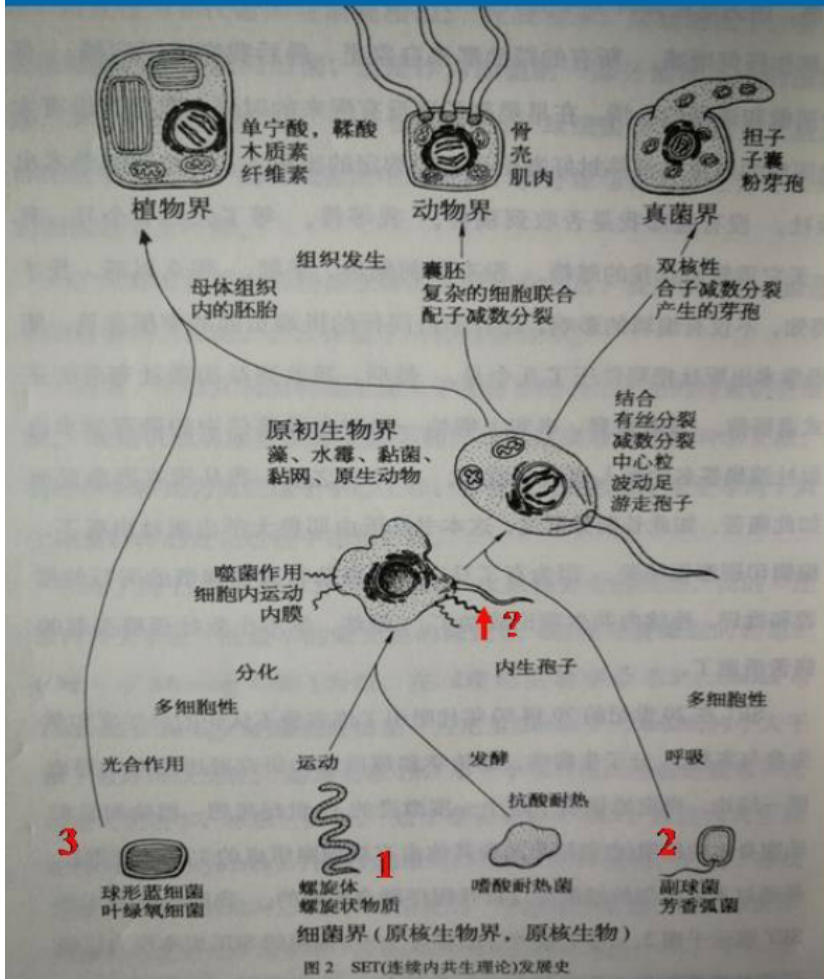
后期出现的真核绿藻(化石)

- 原核生物出现于 **38-35** 亿年前；真核生物出现不超过 **20-15** 亿年前，**10-8** 亿年前真核细胞占优势。即：**原核生物统治地球占 3/4 的时间，改善地球环境相当**
- **慢**真核生物细胞要比原核生物细胞复杂得多。真核的起源是更为关键和困难，在统计学更不可能。**真核单细胞**出现性别分化和减数分裂。**多细胞生物** 9-7 亿年前出现，其意义重大！
- 具有生物膜包被的细胞器，即区域高度组织性的真核细胞是如何从较简单的原核细胞进化来的呢？

(三) 半自主细胞器的起源

“**内共生假说**”（1883,A. Schimper 发现叶绿体自行繁殖。1967，马古丽斯《细胞在进化中的共生》猜想 3 种细胞器是内共生）

- 生物细胞间的内共生现象是存在的。**好氧细菌与线粒体，蓝细菌与叶绿体**，他们在大小、膜的组成及膜蛋白的运转作用等方面具有相似性。外膜与内膜在组成上不同。
- 繁殖时，线粒体和叶绿体分裂方式与好氧细菌和蓝细菌的**二分裂**基本相同。
- 线粒体与叶绿体内部含有**环状 DNA**，这一点也与好氧细菌和蓝细菌相同。线粒体与叶绿体核酸序列的分析结果也为内共生假说提供了支持。
- 2015，证实动物细胞的**中心粒**具 DNA，也是半自主细胞器



Margulis是一位女强人

共生步骤: 首先, 发酵古细菌 (或嗜酸耐热菌) 与会游动细菌合并, 形成核质。第2步, 与呼吸氧气细菌合并, 得到线粒体。第3步, 与绿色光合作用细菌合并, 得到质体。另外, 鞭毛和纤毛 (中心粒-动体) 等由螺旋体菌合并的 (2015得到承认)。真核生物纤毛、精子的鞭毛、女性输卵管纤毛、喉咙里纤毛, 都是由9组维管组成的“波动足”。

自寒武纪, 竞争与捕食出现加速生物进化。

五、生物进化论的发展

- 当代生物进化论理论基础来自3个方面:
- 1、拉马克进化学说
- 2、达尔文进化论
- 3、孟德尔-摩尔根遗传定律

(一) 需要重新认识拉马克

- 1707年，博物学界诞生了2位伟人：瑞典的**林奈**和法国的**布丰**（Buffon）；布丰是伟大思想家和博物学家，出版44卷《自然史》。布丰非常器重拉马克。
- **拉马克**（1744-1829）是一位天才，相信自生论，1801《无脊椎动物分类系统》，1809《动物学哲学》强调环境对植物的直接影响；物种渐变；动物器官用进废退；获得性遗传。**高等动物的意志和欲望可促进进化**。但平行进化理论是错误的。

----1996《遗传的观念》高度评价拉马克

实事求是对待科学发展史

获得性遗传——由拉马克提出（1809《动物学哲学》）。达尔文认可与支持，写入《物种起源》。米丘林发展与应用，培育300多个果树和浆果新品种，获列宁勋章。**米丘林**（1855—1935）
≠ **李森科**（1898—1976, 1935-1964 李森科掌权科学院）

参考：庚镇城《李森科时代前俄罗斯遗传学者的成就》2014，上海科技教育出版社

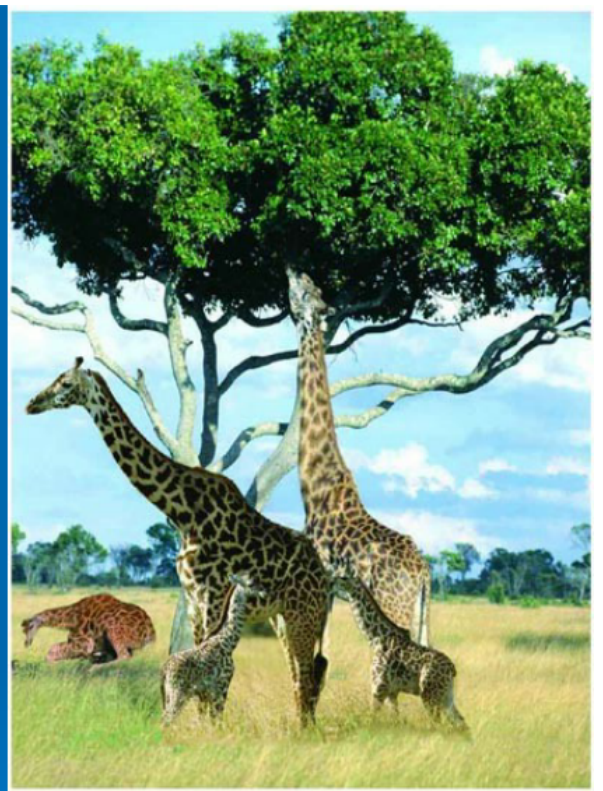
“**获得性**”遗传（生理、形态）≠“**获得性状**”遗传。德国魏斯曼（Weismann August, 1834-1914）对获得性的曲解，22代切断鼠尾实验批驳拉马克“用进废退”？1976，道金斯也是这种态度。因新达尔文主义极力反对。

1960，贝松（J. Beisson）等将纤毛虫的一束纤毛连同基地切下来，反转180度后移植回去，这些被倒置的纤毛在分裂繁殖中至少连续遗传200代。当时被贬为拉马克获得性遗传实验。
（引自 Margulis 《生物共生的行星》2009）

● 生物性状和特征变化往往是环境和遗传相互作用的结果

- 长颈鹿颈脖的形态是用进废退的结果，也是欲望驱动的结果。米瓦特质问“为什么长颈鹿只分布在非洲？”（达尔文接受拉马克理论，无法解释长颈鹿）

欧卡皮鹿（霍加皮鹿）（1901，刚果雨林）

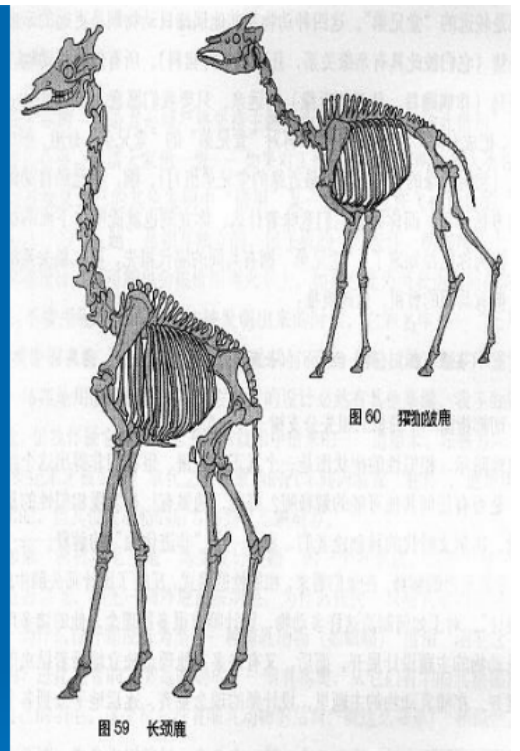


脖子较短的鹿死亡，脖子较长的鹿存活下来，繁殖出的后代的存活率也越大。

达尔文的自然选择，优胜劣汰。
拉马克的用进废退，环境诱导。

协同进化的例子

鹿科、牛科、猪科都是被猫科军备竞赛的产物。双方都用趾尖着地。
长颈鹿是非常具独特的长颈有蹄类动物。



(二) 达尔文进化论诞生条件

- 1、是历史思想财富的继承和精炼。在1861年第3版新增引言中，列举了布丰和拉马克等34位先行者的工作。
- 2、是大量直接和间接科学实践积累的结果。1831-1836贝格尔号环球考察；农作物栽培和家养动物饲养的工作经验。
- 3、受到科学灵感的点燃。加拉帕戈斯群岛鸟类的变异，启发了物种可变思想形成；马尔萨斯《人口论》生存斗争和自然选择是演变的动力。

达尔文进化论的精髓

1. 遗传变异普遍存在；
2. 万物共祖；
3. 物种渐变；
4. 自然选择：生存竞争、适者生存（≠强者生存≠幸者生存）。

达尔文进化论的不足：没有遗传学基础；没有提出隔离在物种形成中的作用。

尽管如此，达尔文进化论具有里程碑的意义。

2009，杰里·科恩著《为什么相信达尔文》在欧美很畅销。

但许靖华《大灭绝》，生命是机会主义的幸者生存，过分强调偶然性。

“神创论”现在改为“智设论”

- 1996，(美) 迈克尔·J·贝希，《达尔文的黑匣子》引入我国，中央编译出版社，2006 (中文版)
- 2005年，美国宾夕法尼亚教育局批准《熊猫的和人类的》(Of Pandas and People) 作为中学教材，被家长告上法庭，教育局败诉。
- 网络信息时代更要警惕智设论。

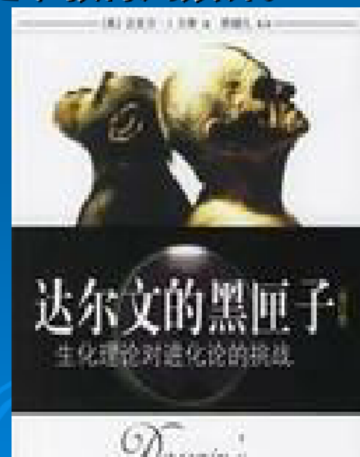


978-7-03-37051-Q9

988-7-312-48309-Q1

《进化论的圣像》中国文联出版社 7-5059-5231-5

是支持达尔文的书



现代达尔文进化论面临的挑战

发育生物学——Hox 基因家族，Pax6 基因（例如，器官，眼睛）；

古生物学的复苏——寒武纪生物“大爆炸”学说，生物演化间断-平衡学说（云南澄江，西北大学在宜昌清江发现 5.18 亿年前寒武纪生物群 2019-3-22 Science，加拿大，澳大利亚，）。

新兴分子生物学——中性突变理论（日本木村资生 (M. Kimura) 1968。

分子钟和中性突变受到挑战，和质疑。（《新科学家》1990.2.10，P33 “分子时钟已过时”；1986，《生物化学的方向》11：280-282，“分子进化论是否正确？”；1989.9，《进化生物学》“蛋白质分子时钟理论的检讨”）——[美] 詹腓力著，钱锺等译，《审判达尔文》2006，中央编译出版社，P84-87，164

(三) 现代综合进化论 (1937-1950)

- 1937, **杜布赞斯基**《遗传学与物种起源》; 1942, **J. 赫胥黎**《进化: 现代的综合》; 1942, 迈尔《系统分类学与物种起源》; 1944, 辛普森《进化节奏与模式》; 1950, 斯特宾斯《植物的变异与进化》, 以及霍尔丹和赖特等。
- **主要论点**: 享有一个基因库的**群体**是生物进化的基本单位; 物种形成和生物进化的机制包括**基因重组**、**自然选择**和**隔离** 3 个方面。
- 分子生物学和发育生物学对其进行修补与完善。

(四) 进化的动力

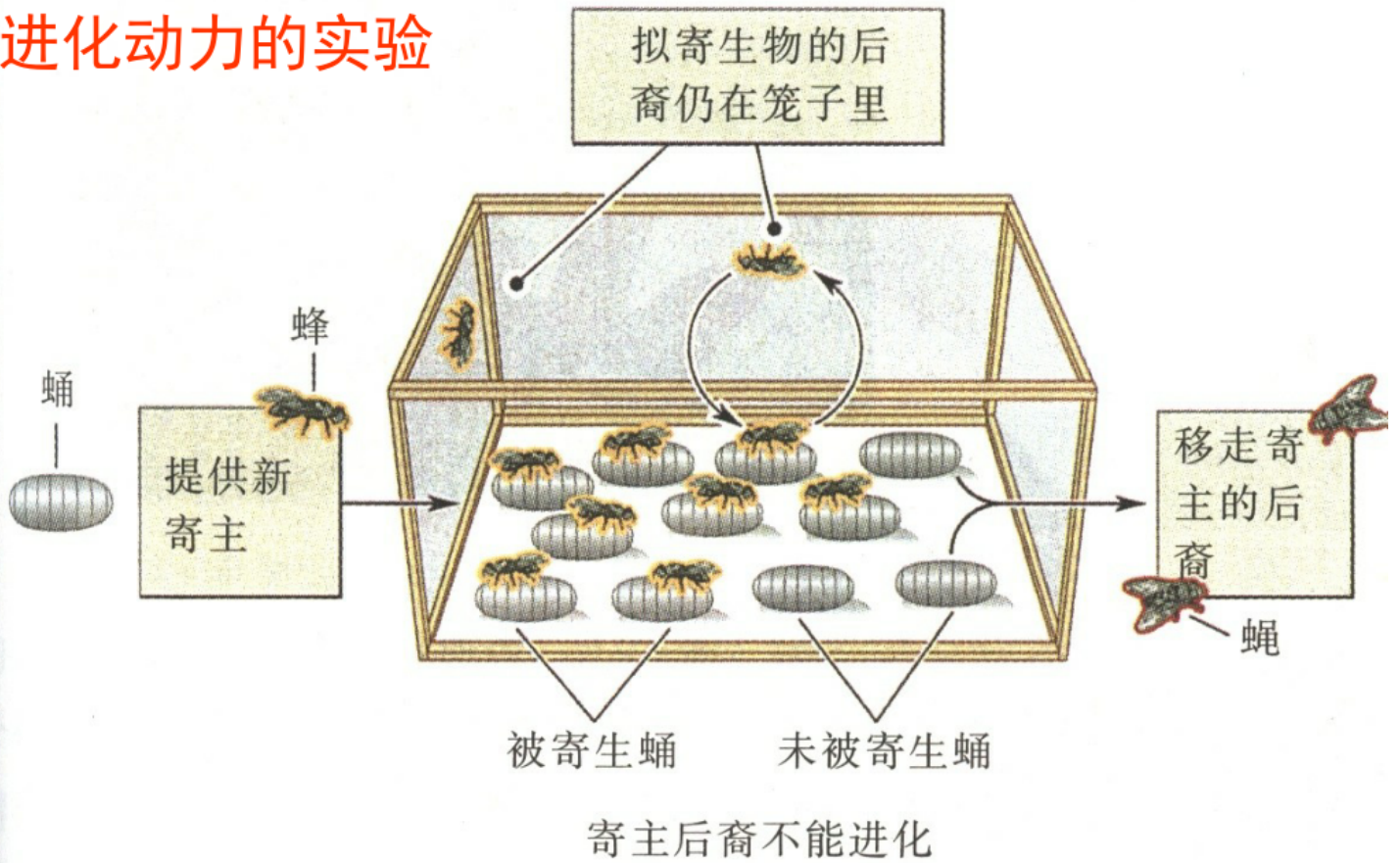
生物进化的主要力量之一: 生物适应 / 自然选择 (有性生殖变异 / 自然选择)

- 达尔文: 自然选择是个体, 并且不是唯一的进化动力。
- 因为**遗传信息**的实施与运作的**复杂性**, 不仅表现在生物体的**层次性和整体性**上, 而且表现在与**环境**的相互作用上, 这就是**自然选择**。

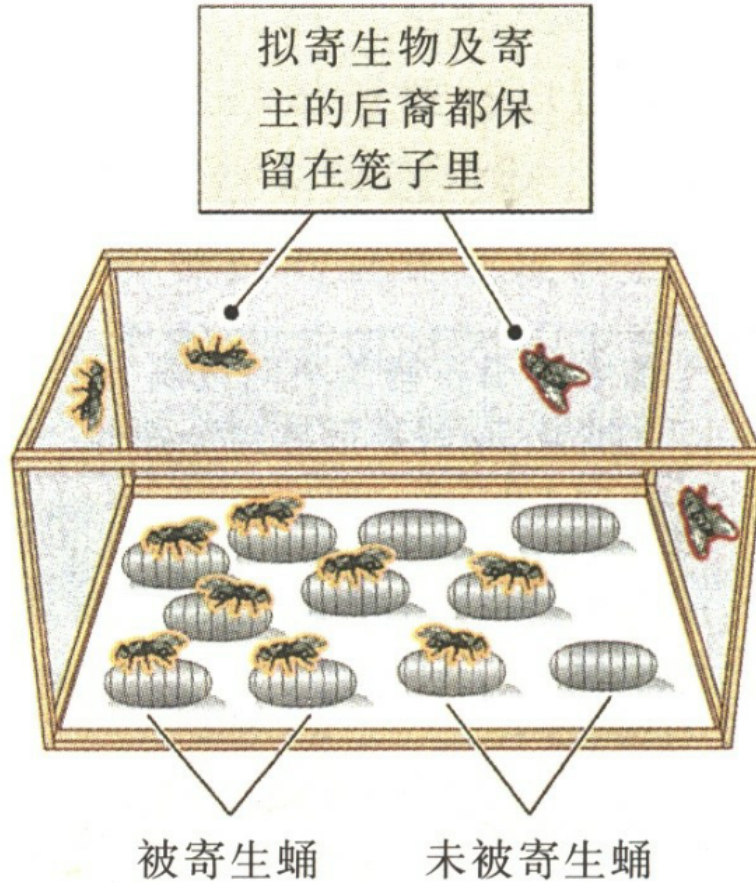
(陈润生院士《**基因的故事**》, 北京理工大学出版社, 2010)

在细胞的重编程和分化过程中, 表观遗传机制的作用到底有多大依然还不是很清楚, 似乎细胞的命运由表观遗传机制所掌控。

进化动力的实验



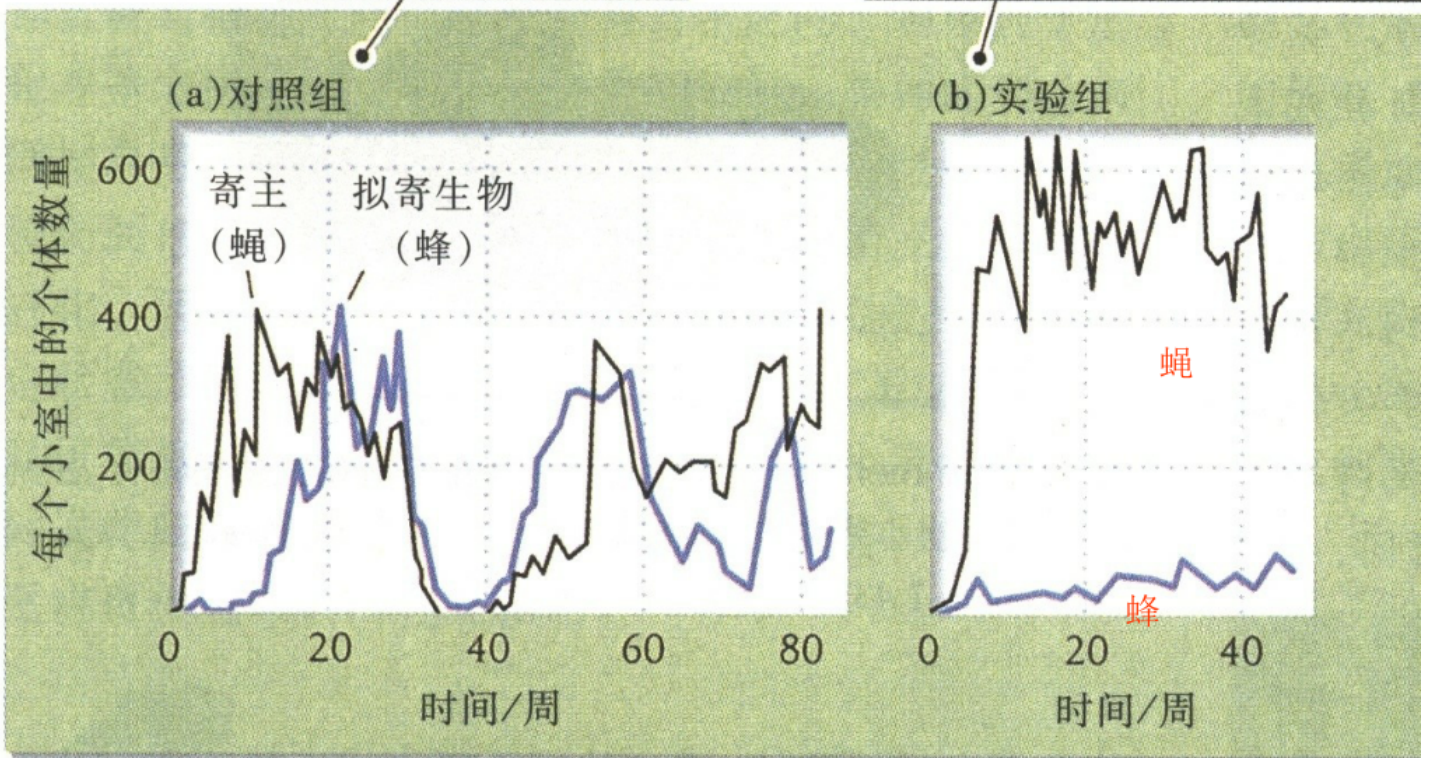
家蝇蛹和寄生蜂相互作用的实验（康奈尔大学，1960）



寄主后裔仍在笼中, 种群通过进化对寄生物作出反应

蝇没有与蜂共处的经历

蝇已经和蜂共同生活了超过 1000 d



自然选择（环境压力）与生物适应的关系是什么？

中国科学院上海逆境生物学研究中心 2012 年成立

（五）生物进化的证据

1、古生物学证据（化石记录）

➤ 化石的重要性在于：（火成岩、变质岩、**沉积岩**）

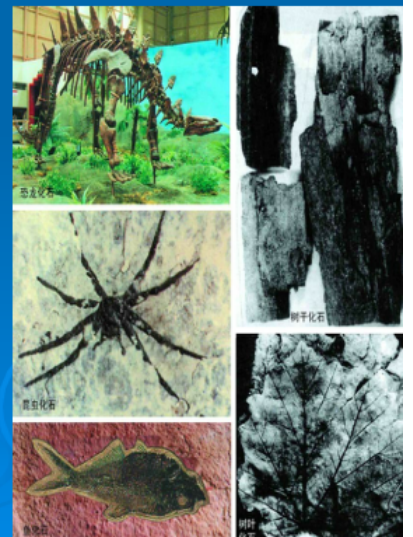
第一，作为证据，骨头从来不说谎。

第二，当发现过渡态物种的化石，它必定会出现所预测的地层位置；如云南澄江化石群；

第三，任何进化的改变，必然是基于旧特征塑造出的新特征。

第四，化石揭示历史上 5 次生物大灭绝：

4.4 亿年前； 3.7 亿； 2.5 亿； 2 亿； 6500 万年前恐龙灭绝。



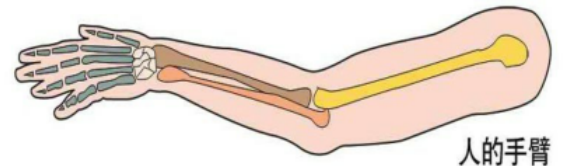
2、生物地理学证据——解释不同地区生物的相似性和特有性，与大陆漂移理论结合

- 生物地理学是研究物种地理分布的科学。正是生物地理学最早为 Darwin 提出的物种形成和生物进化提供了证据。
- 例：在欧洲、美洲和亚洲都发现有袋类化石。现存有袋哺乳动物仅仅居住在澳大利亚，是分化中心，而澳大利亚胎生哺乳动物非常稀少。
- 生物种群的进化一方面受环境选择的作用，另一方面在一定的区系内进行。

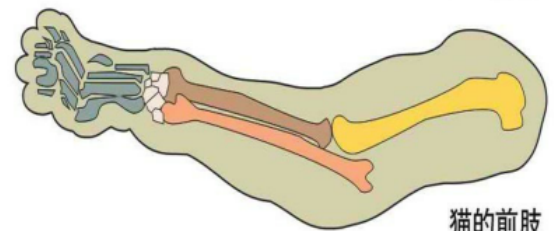


3、比较解剖学证据

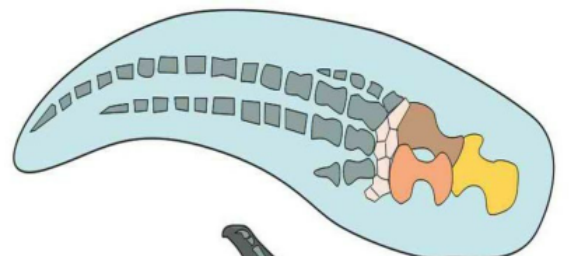
- 同源器官是相同祖先遗留下来的残余器官，与分类学有关。
- 同功器官是因自然选择使得不同生物在进化中获得表面相似的结构，与分类学无关。
- 在一些不同种群生物中，某些器官即使行使不同功能，它们在解剖结构上也具有相同或相似性，反映出这些生物之间具有的亲源关系和从某个共同祖先进化来的轨迹。



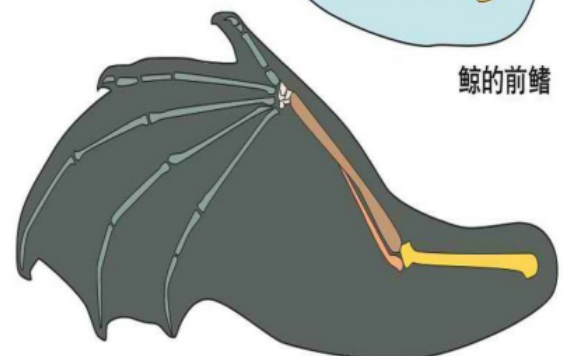
人的手臂



猫的前肢



鲸的前鳍



蝙蝠的翅膀

玉蜀黍（玉米）的起源之争

返祖现象

返祖的玉米花序

退化器官痕迹

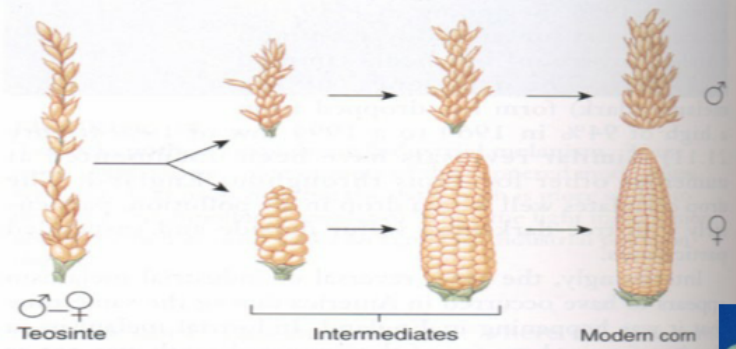


FIGURE 21.13 Corn looks very different from its ancestor. The tassels and seeds of a wild grass, such as teosinte, evolved into the male tassels and female ears of modern corn.



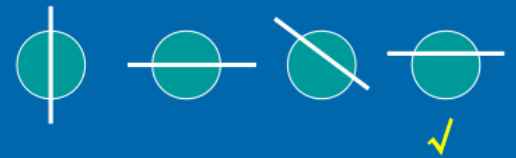
分子生物学研究，7000年前玉米起源于墨西哥类蜀黍（大刍草 *Euchlaena mexicana*），只有5-6个基因突变产生了明显差异。（Nature-plant, 2015. 1, 14）

我国云南有红色球状野生玉米，认为是玉米祖先？

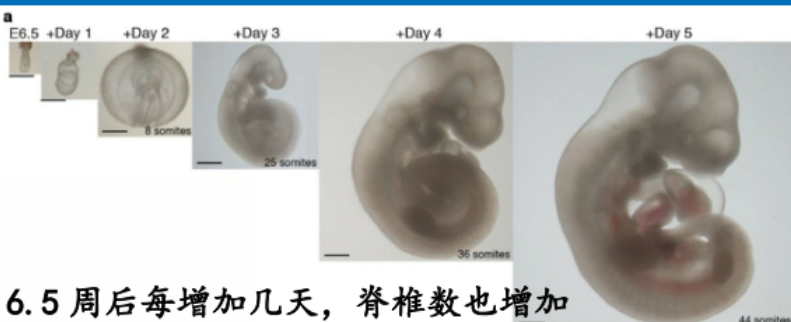
4、比较胚胎学的证据

- 1771，贝尔提出。1821，梅克尔重演法则。1866，海克尔重绘生物重演律。
- 个体发生是种系发生的简洁、快速的重演。指亲缘较近的生物在发育早期阶段会经过相似的祖先原始特征。（是个体发育快速闪现系统发育的关键特征，非重演，它自诞生时就遭到批评）

受精卵第1次分裂的4种类型



此图第1行太夸张，具捏造之嫌

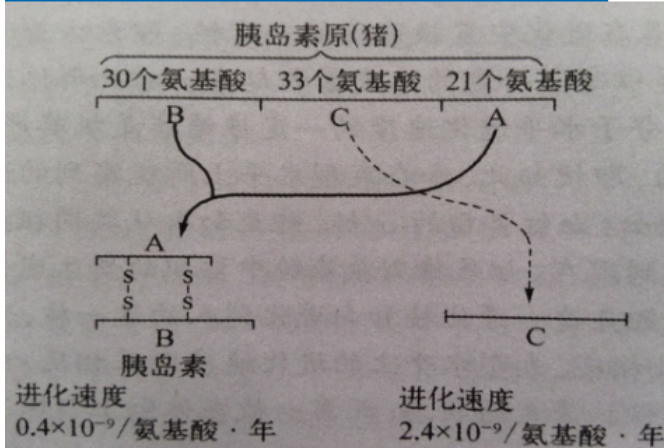


6.5周后每增加几天，脊椎数也增加

5、分子生物学证据

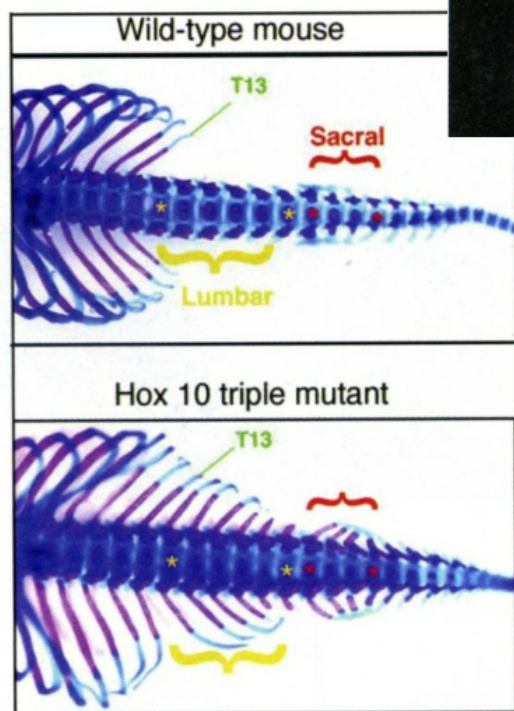
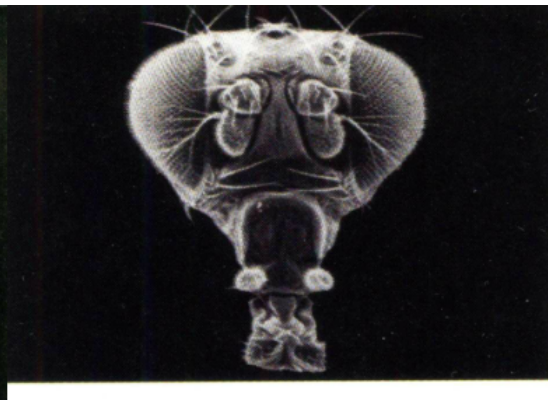
- 例：人类与其他几种脊椎动物血红蛋白多肽链的氨基酸序列差别（ α 141； β 146）。

基因和蛋白质重要性决定突变速率

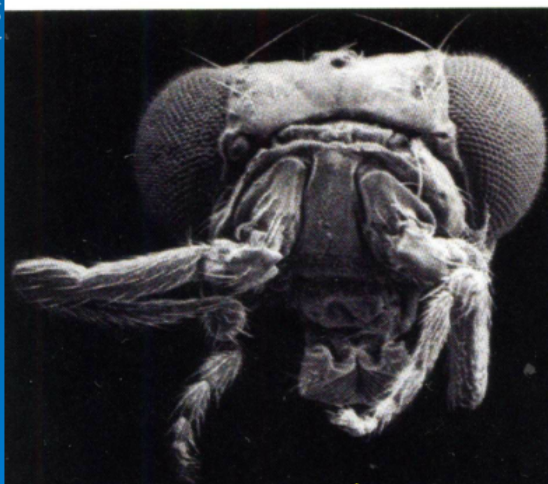


分子水平的同源器官

- 昆虫的复眼，头足动物的眼睛，哺乳动物的眼睛，三者形态上看毫无关系。眼睛的结构与功能是自然选择的微进化无法解释的，有人曾用来难为达尔文的自然选择学说。
- 分子生物学研究结果，**各种类型眼睛**都由 *Pax6* 基因调控的，器官的同源性在分子水平有了新的理解。
- 同源框 (**Hox 家族基因**) 基因研究，发现 *Hox* 基因簇几乎在所有动物发育过程中，控制身体各部分形成，是形态发育“总设计师”或“万能开关”，对于解释动物寒武纪大爆发有新的理论依据。



果蝇 *Pax6* 突变



果蝇 *Hox* 基因的 *BX-C* 突变

小鼠的 *Hox* 基因突变型

表观遗传学带给拉马克学说新曙光

- 基因是以 DNA 为载体，DNA 虽然对蛋白质的表达起着决定权，但从 DNA 到蛋白质的过程中却存在很多可以调控的步骤，像 DNA 的甲基化、组蛋白的甲基化和乙酰化等，甚至蛋白质的不同折叠也影响蛋白质表达与功能（细胞质遗传）。
- 上述调控过程具有 2 个特征：一是它们能够长久不断受到自然的后天影响（可获得性），它们还可以遗传（可遗传性）。
- 揭开 DNA 遗传与表观遗传之间的联系，是证明拉马克学说关键。
- RNA 干扰的跨代遗传现象（ ≥ 3 代）2018-5 Nature, Cell Report 有 3 篇文章报道 RNAi。（RNAi 3 个过程：沉默信号建立，沉默信号传递，沉默信号维持）

逆境生物学的发展也支持拉马克学说

现代生物进化论主要思想

- 1、地球上所有生物由**同一祖先**而来；
- 2、**种群**是物种多样性进化的基本单位；
- 3、生物变异的最基础水平是**DNA**分子构成或结构的改变；**进化没有方向**，自然选择 / 生物适应有方向。
- 4、生物进化的动力：**自然选择 / 生物适应**（进化是**基因调控网络的变化**）、突变、重组、转座、随机漂变、基因流。进化是**偶然性与必然性**的组合，变异具偶然性，而选择呈必然性。
- 5、**生殖隔离**是新物种形成前提条件。：

生物进化是加速度的

- 2个模式共存：**硬进化—形态结构进化—适者生存**；
软进化—信息系统进化—智者生存。
- 3个信息系统的积累：
 - 第一是遗传信息系统（所有生物共有的）；
 - 第二是心理信息系统（从脊椎动物开始出现）；
 - 第三是文化信息系统（人类和人类社会开始出现）
- 5种进化机制的积累：**突变—遗传机制**；**基因扩容机制**；**生殖重组机制**；**基因—心理转译机制**；**文化进化机制**。

——引自韩明友著，《生物进化的信息机制——对拉马克、达尔文理论的机制概括与拓展》，高等教育出版社，2016

对生命世界的新认识

- 生命现象既简单又复杂。说简单，是指在物质组成和遗传编码的统一性方面。说复杂，是指表现在形态结构适应、遗传发育和代谢调控方面。生命世界是**协同进化**的产物，除了**基因突变与重组**，**自然选择**在分子、细胞、个体和种群生命层次上作用。生命世界跨越了无机界和有机界，生命是由**物质、能量和信息**组成的**自组织的开放系统**，是按照**垂直进化**和**水平进化**两个方面发展的。进化论已成为当代生物学各门学科的精髓和灵魂。

在西方世界，已将“**生物进化论**”和“**量子理论**”作为判断一个人的科学素养的标准。

生命世界位于牛顿力学与量子力学的边缘（一半是肉体，一半是精神）。

---- 薛定谔《生命是什么》

主要内容回顾

- 一、生命是什么？
- 二、生命起源的几种假说
- 三、生命起源的三个阶段
- 四、生命起源的主要证据
- 五、生物进化论的发展

预告：下一讲 人类的起源与进化

再见