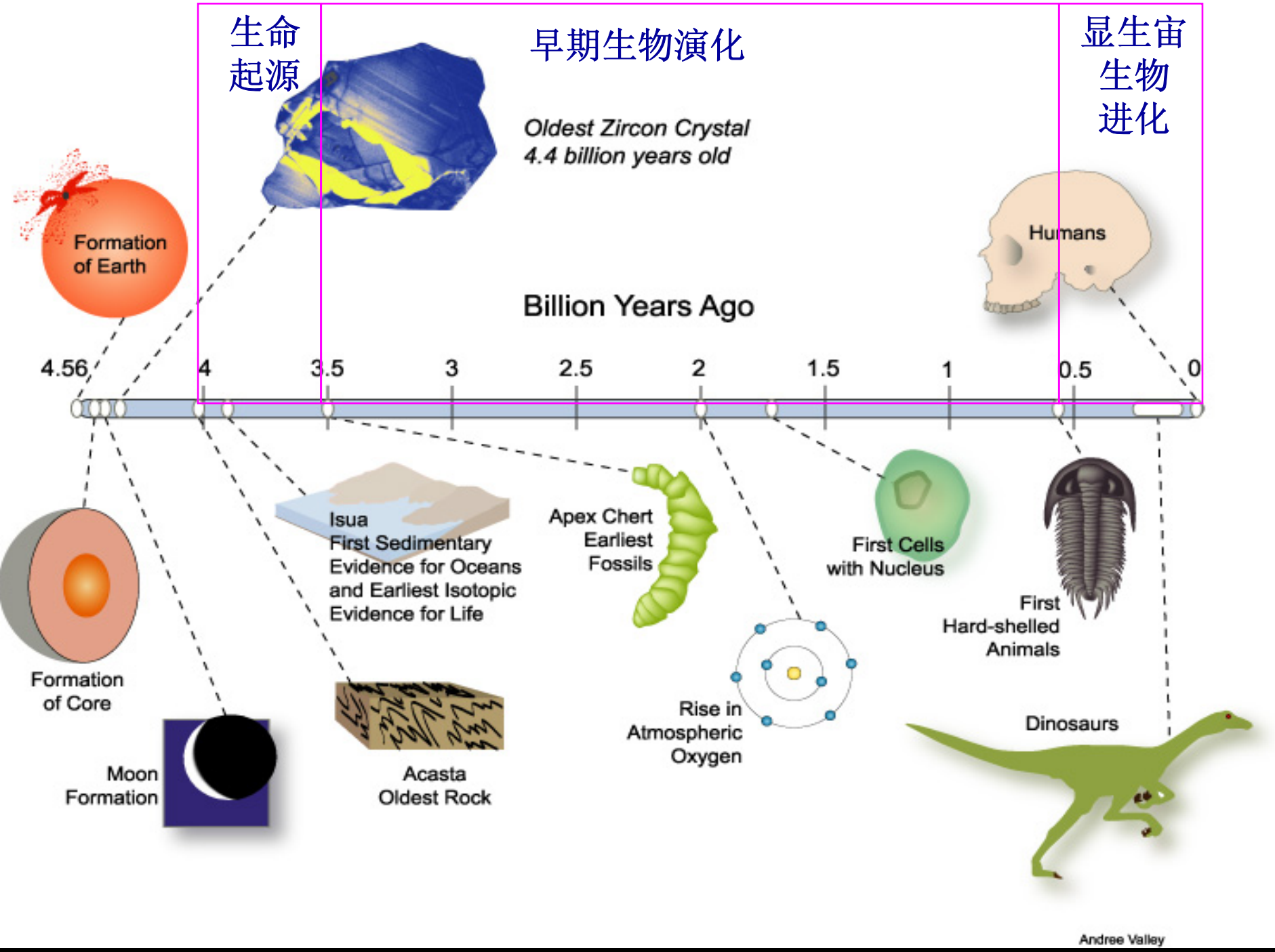
演化古生物学
evolutionary paleontology

是研究生物发展历史和演变规律的科学

也即生物进化论(theory of biotic evolution)

演化古生物学
evolutionary paleontology

- 达尔文首次对生物进化的过程和原因作了科学和较系统的说明
- 杜布赞斯基把居群遗传学应用到进化论，使进化论更加充实和完善
- 进化论是研讨生物进化的模式和机理
  - 进化模式是各种进化关系特征的表现
  - 进化机理是进化的过程或原因


生命
起源
早期生物演化
显生宙
生物
进化
Oldest Zircon Crystal
4.4 billion years old
Formation
of Earth
Humans
Billion Years Ago
4.56
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
Isua
First Sedimentary
Evidence for Oceans
and Earliest Isotopic
Evidence for Life
Apex Chert
Earliest
Fossils
First Cells
with Nucleus
First
Hard-shelled
Animals
Formation
of Core
Rise in
Atmospheric
Oxygen
Dinosaurs
Moon
Formation
Acasta
Oldest Rock
Andree Valley

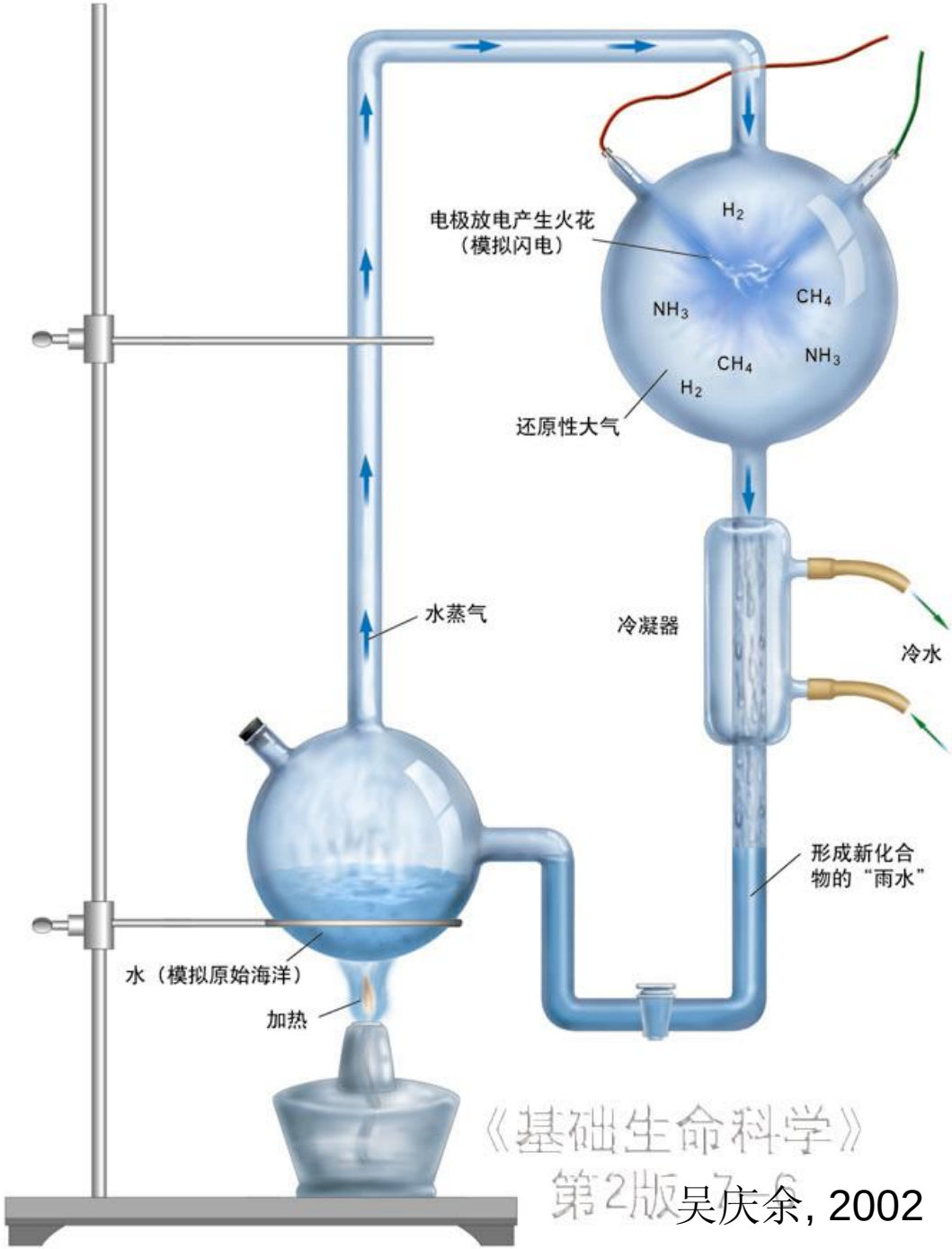
演化古生物学

- 生命的起源
- 早期生物演化
- 显生宙的生物演化
- 生物进化的特点和规律

生命的起源

两种假说

- 外星来源说：银河系别的星球上的生命（细菌或孢子）传到地球上（有生源论、宇宙胚种论）
- 地球发生说：地球上的无机物在特定的物理化学条件下形成的各种有机化合物，经过一系列变化后转变为有机体（化学进化）



米勒实验

吴庆余, 2002

生命的起源

地球上生命产生过程的三个阶段

- 有机化合物形成：N、H元素和H_2O、CO、H_2S、甲烷等无机化合物——→氨基酸、核苷酸、单糖等有机化合物
- 生物大分子形成：有机化合物——→甘氨酸、蛋白质、核酸等生物大分子
- 生命形成：多个生物大分子聚集，形成以蛋白质和核酸为基础的多分子体系，它具有初步的生命现象——从周围环境中吸取营养，将废物排出体系

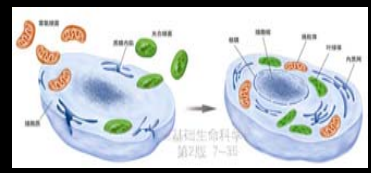
演化古生物学

- 生命的起源
- 早期生物演化
- 显生宙的生物演化
- 生物进化的特点和规律

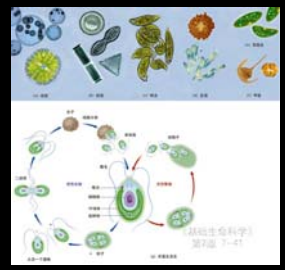
地球早期生命演化——最具挑战性课题



（1）生命　　无　➡　有



（2）细胞　　原核 ➡ 真核



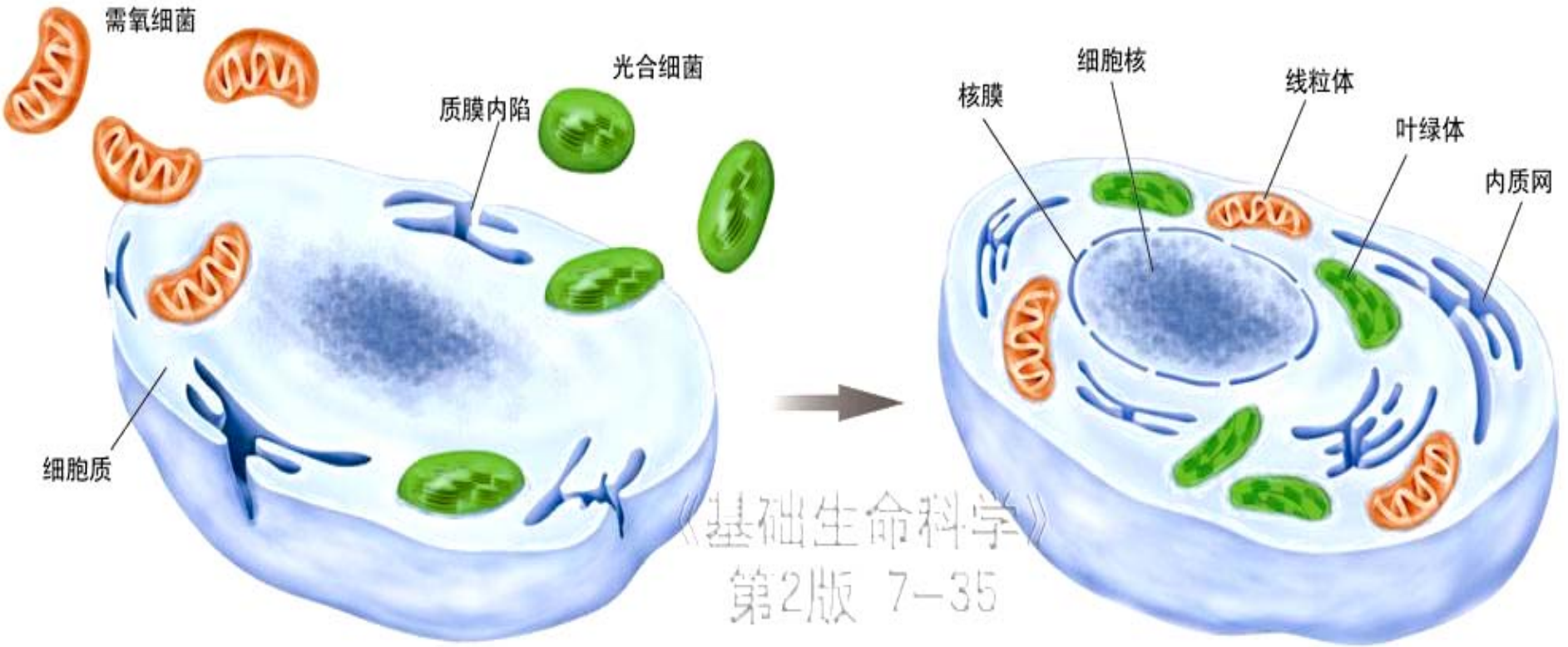
（3）个体　　单细胞 ➡ 多细胞



（4）前寒武纪地球环境距今久远、未知领域多、与现今差异大

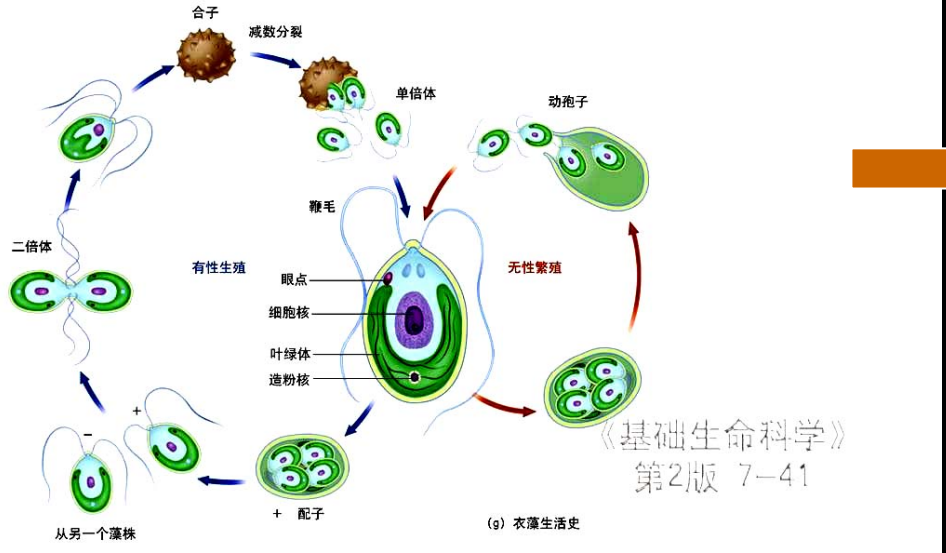


真核细胞起源的内共生学说　实验证据



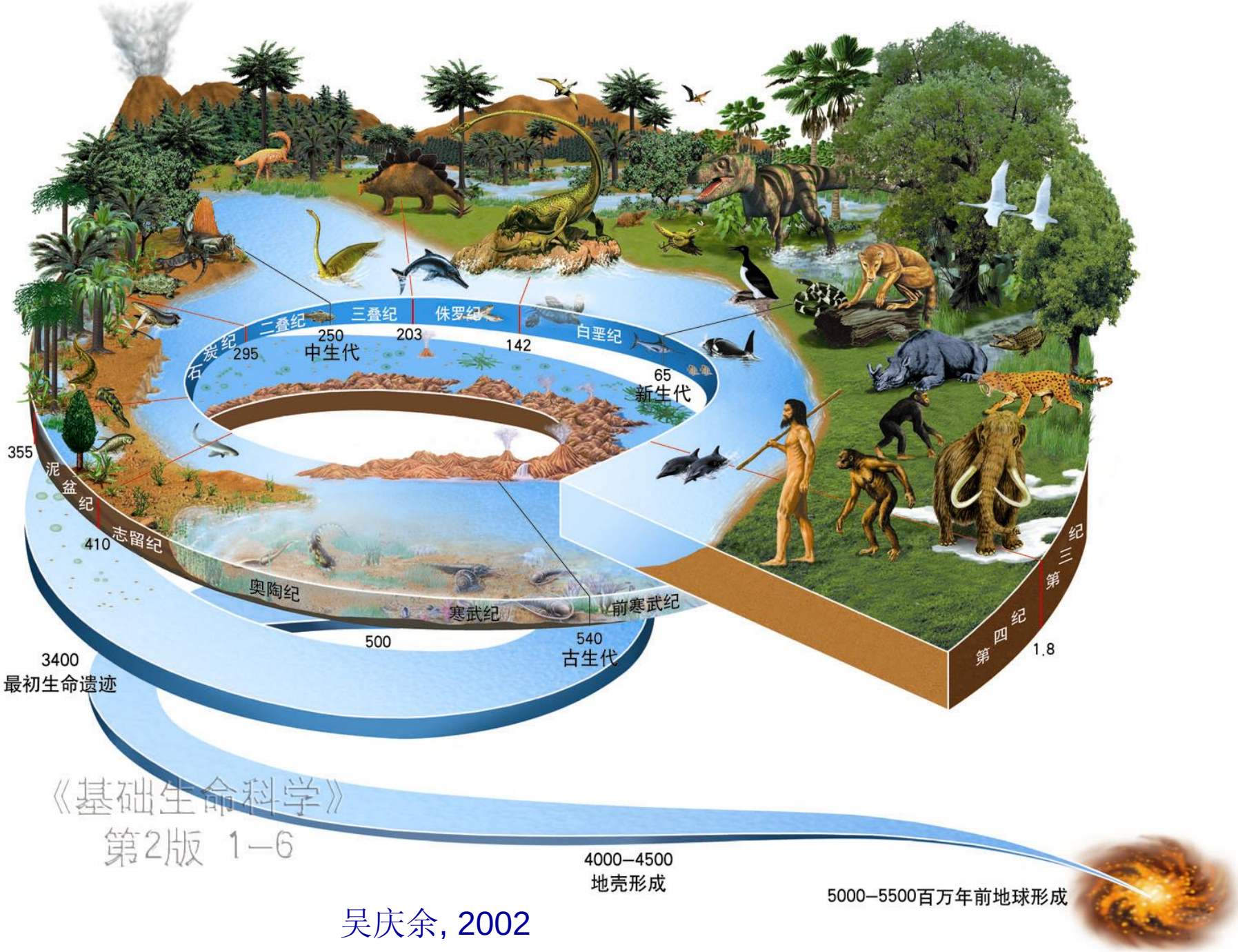
吴庆余, 2002


(a) 绿藻
(b) 硅藻
(c) 眼虫
(d) 金藻
(e) 草履虫
(f) 甲藻


合子
减数分裂
单倍体
动孢子
鞭毛
二倍体
有性生殖
眼点
细胞核
叶绿体
造粉核
无性繁殖
+
−
+ 配子
从另一个藻株
(g) 衣藻生活史
《基础生命科学》
第2版 7—41


(a)地钱
精子器托
和精子器
颈卵器托
和颈卵器
《基础生命科学》
第2版 8—1
叶状体
胞芽
假根
芽杯
雄配子体
雌配子体
(b)葫芦藓
孢子体
颈卵器
雌枝
雄枝
假根
精子器
配子体（拟茎叶体）

多细胞生物的起源问题



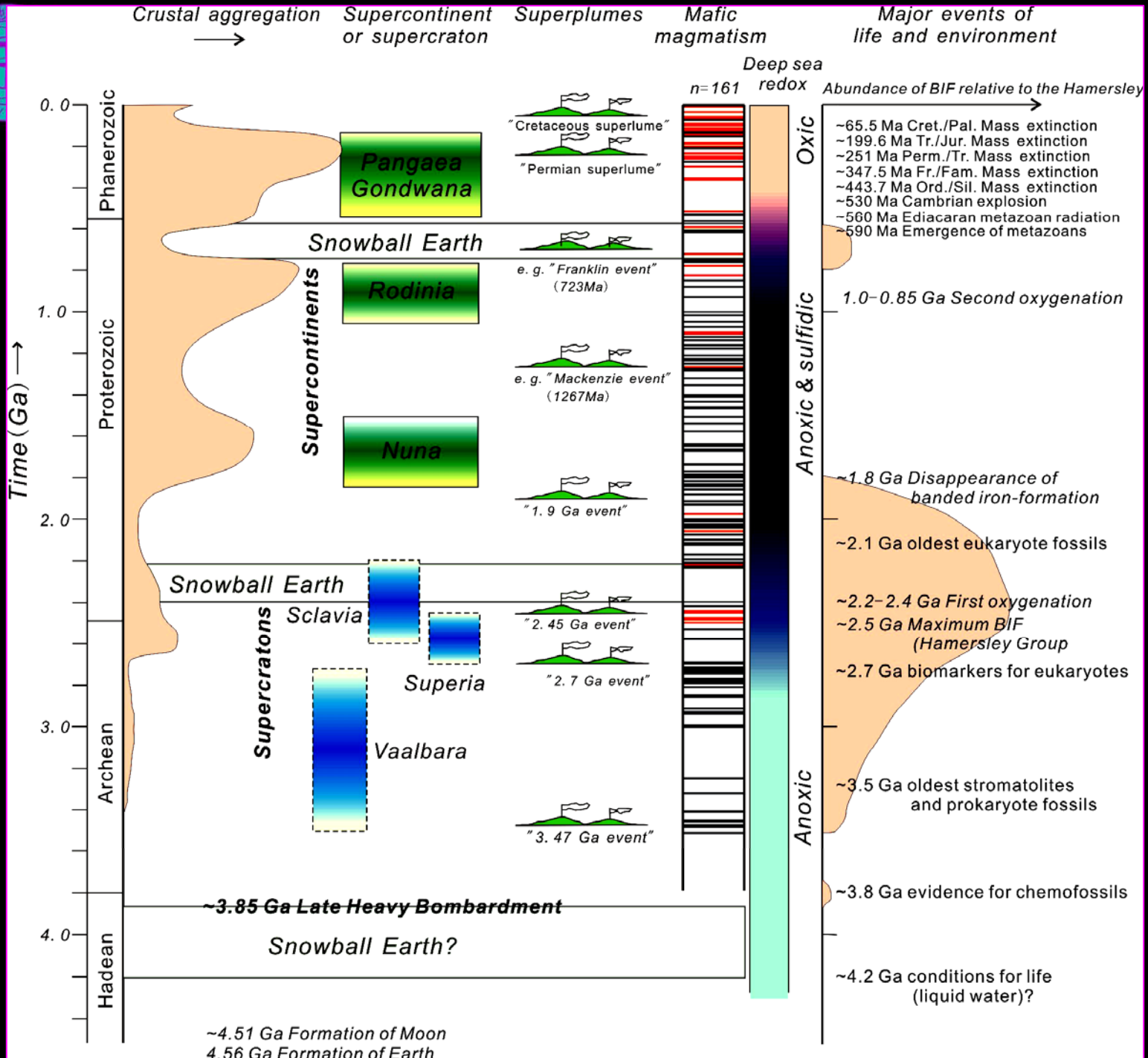
《基础生命科学》
第2版 1–6

吴庆余, 2002

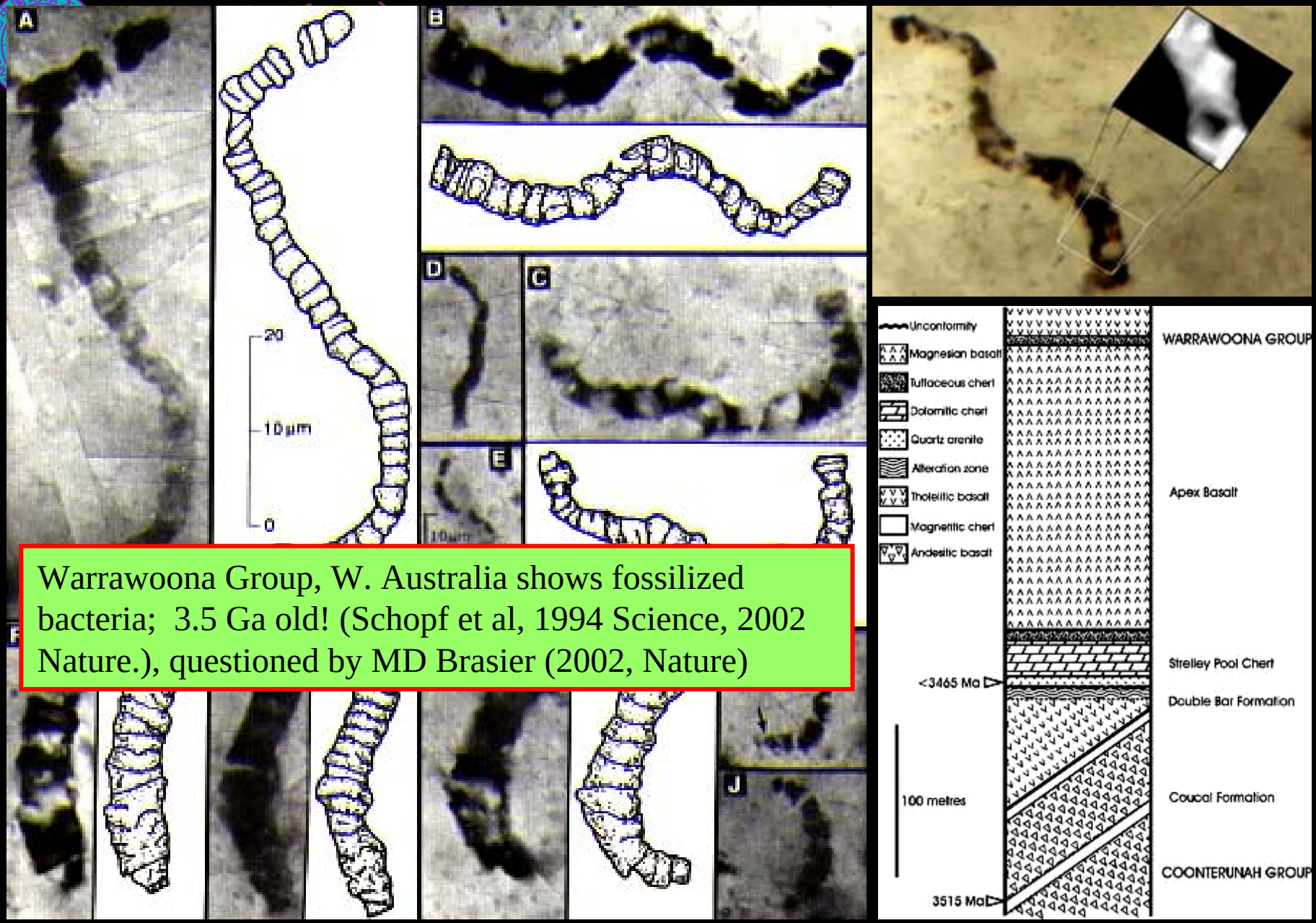
早期生物演化

早期生物演化的4次重大事件

- 从非生物的化学进化发展到生物进化
  - 最早化石记录35-38亿年
- 生物分异
  - 22-24亿年前大气开始充氧
- 从原核生物演化到真核生物
  - 真核生物出现于21亿年前，繁盛于10亿年前
- 后生动物出现
  - Ediacara动物群(5.6亿年)

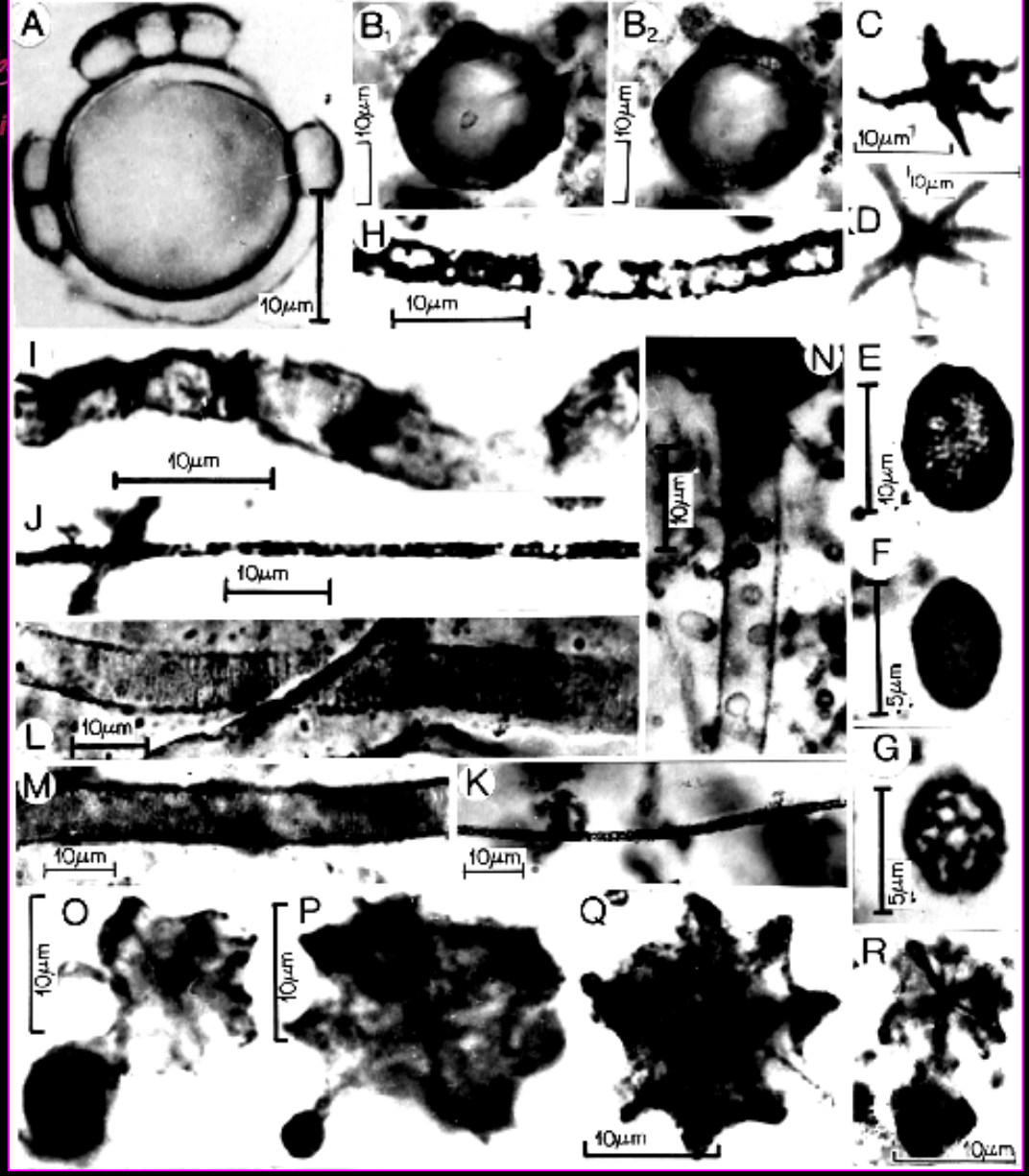


Tong & Shi, 2008



Warrawoona Group, W. Australia shows fossilized bacteria; 3.5 Ga old! (Schopf et al, 1994 Science, 2002 Nature.), questioned by MD Brasier (2002, Nature)

Apex Chert (**3.5Ga**), W. Australia; oldest prokaryote fossils



Schopf JW, 2000, PNAS, **2.1Ga**, Gunflint Chert, Canada

Eukaryotes ? + Cyanobacteria

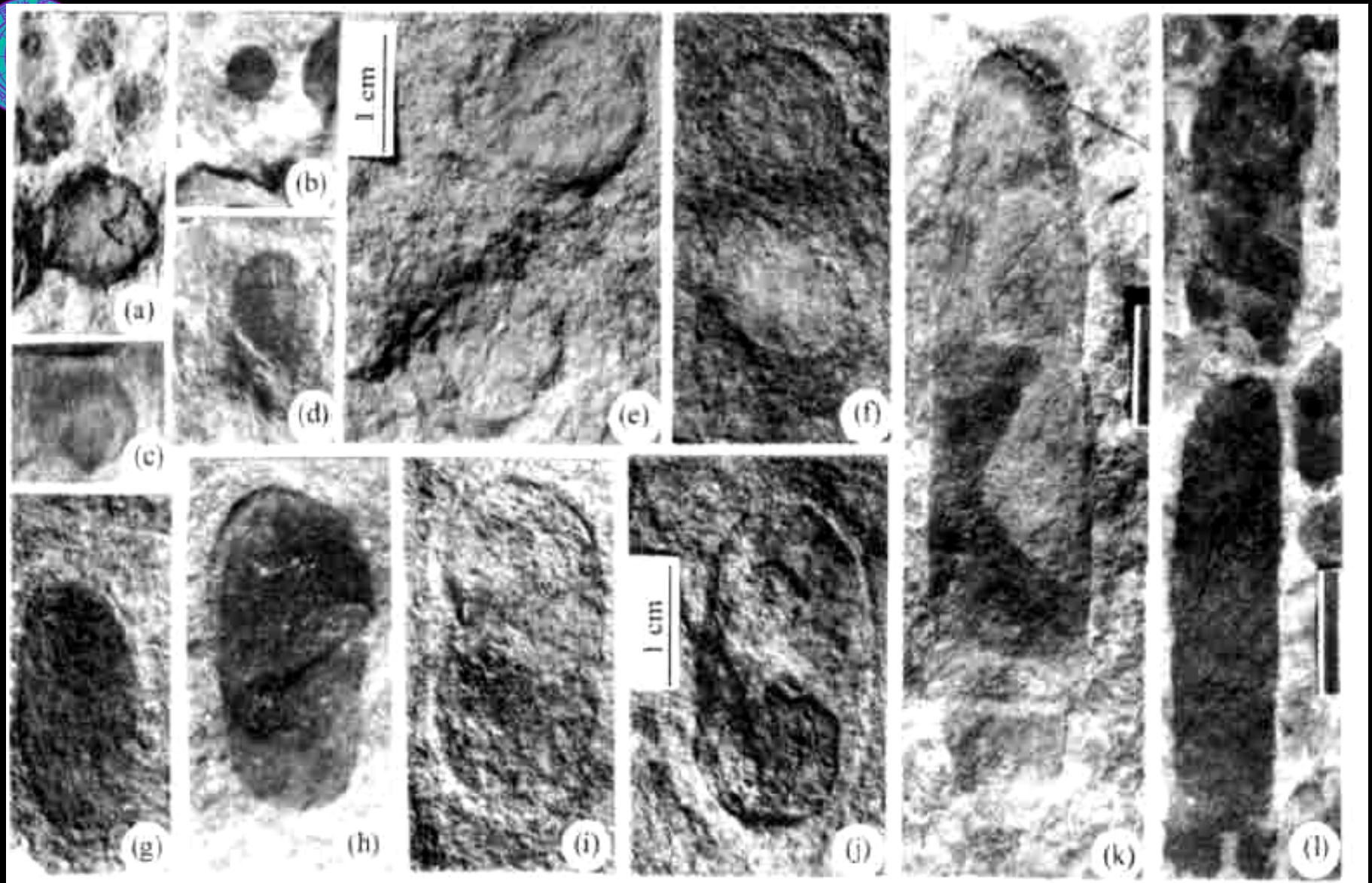


图 2　燕山长城群常州沟组的碳质压型化石

Zhu SX et al,1999, Chin Sci Bull, (macroscopic algae fossils from Changzhougou Fm, Hebei, ca **1.7Ga**)

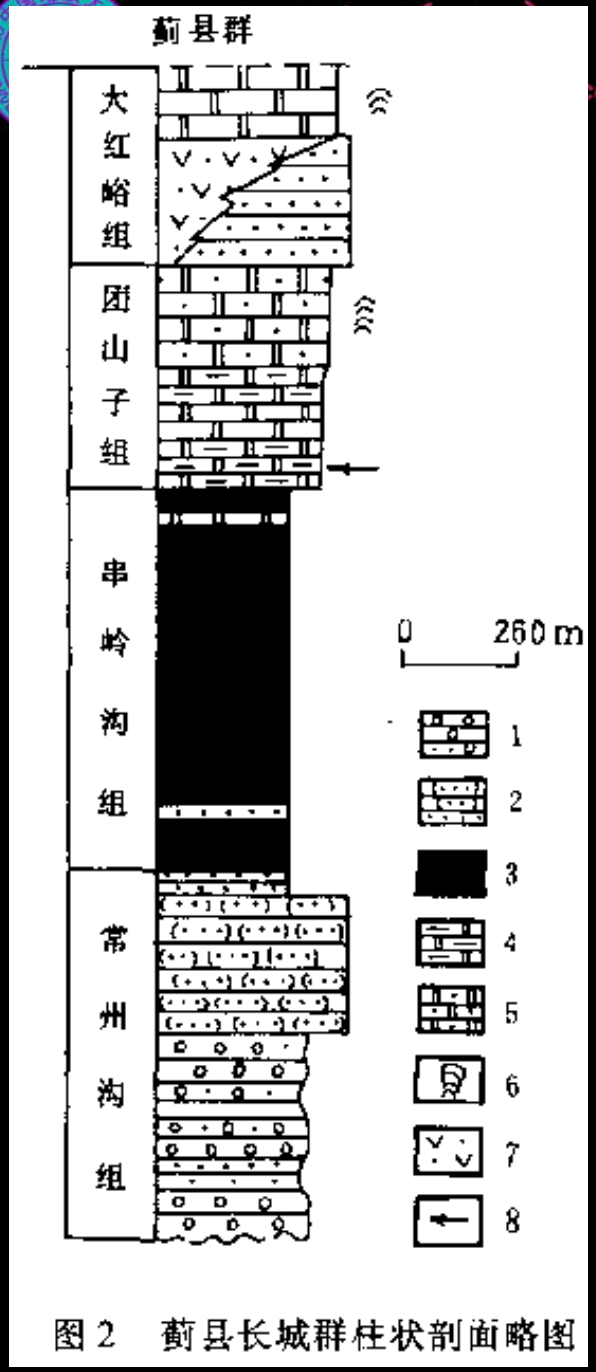


图 2　蓟县长城群柱状剖面略图

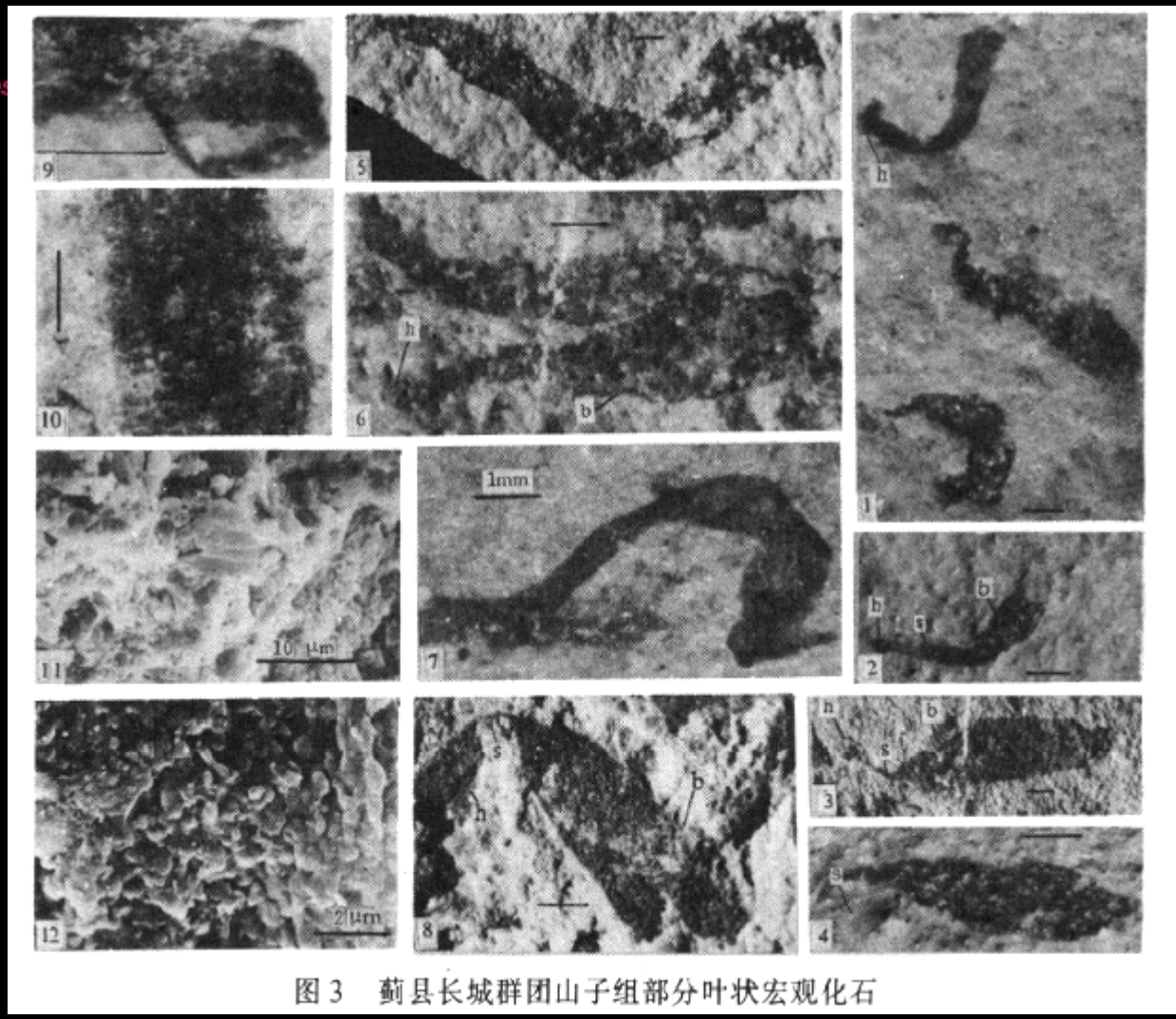


图 3　蓟县长城群团山子组部分叶状宏观化石

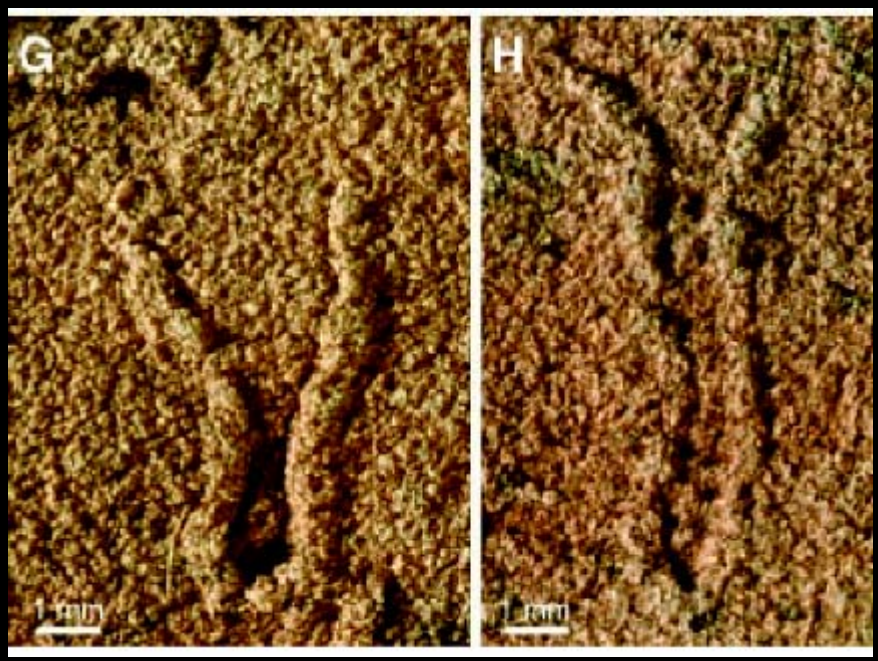
Zhu et al, 1995, Chi Sci Bull, 40(12)
(Macrospcopic algae fossils
from Tuashanzi Fm. ,ca **1.65Ga**, Tianjin)



Discoidal Impressions & Trace-Like Fossils

SW Australia, Stirling Range Fm; between **2.02 to 1.21Ga**, tidal sandstone

Possibly motile vermiform organism



Morris SC, 2002, Sci, 298: 57

- author's explanation unfavorable;
- with special structures,
- not metazoan, biogenetic origin
- may related to folded microbial mat

Rasmussen B. et al, 2002, Science, 296: 1113

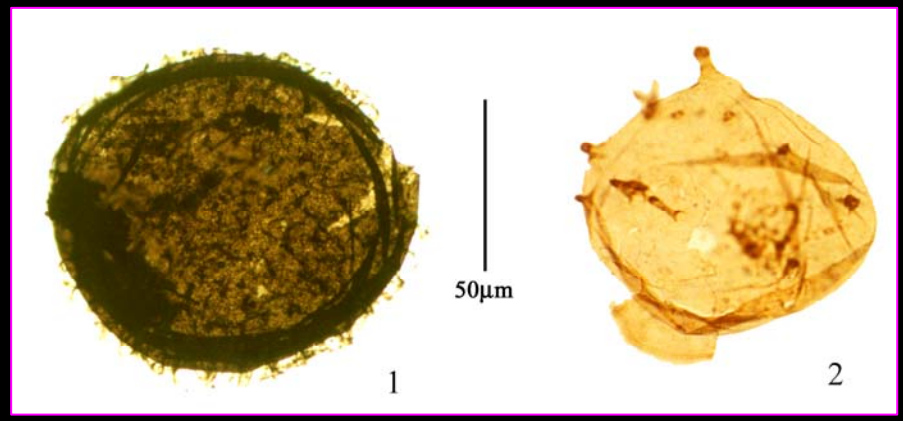


中国天津蓟县中元古界团山子组（距今约16亿年）叠层石



中国天津蓟县中元古界串岭沟组（距今17-18亿年）的单细胞真核生物化石

化石具有开裂特征

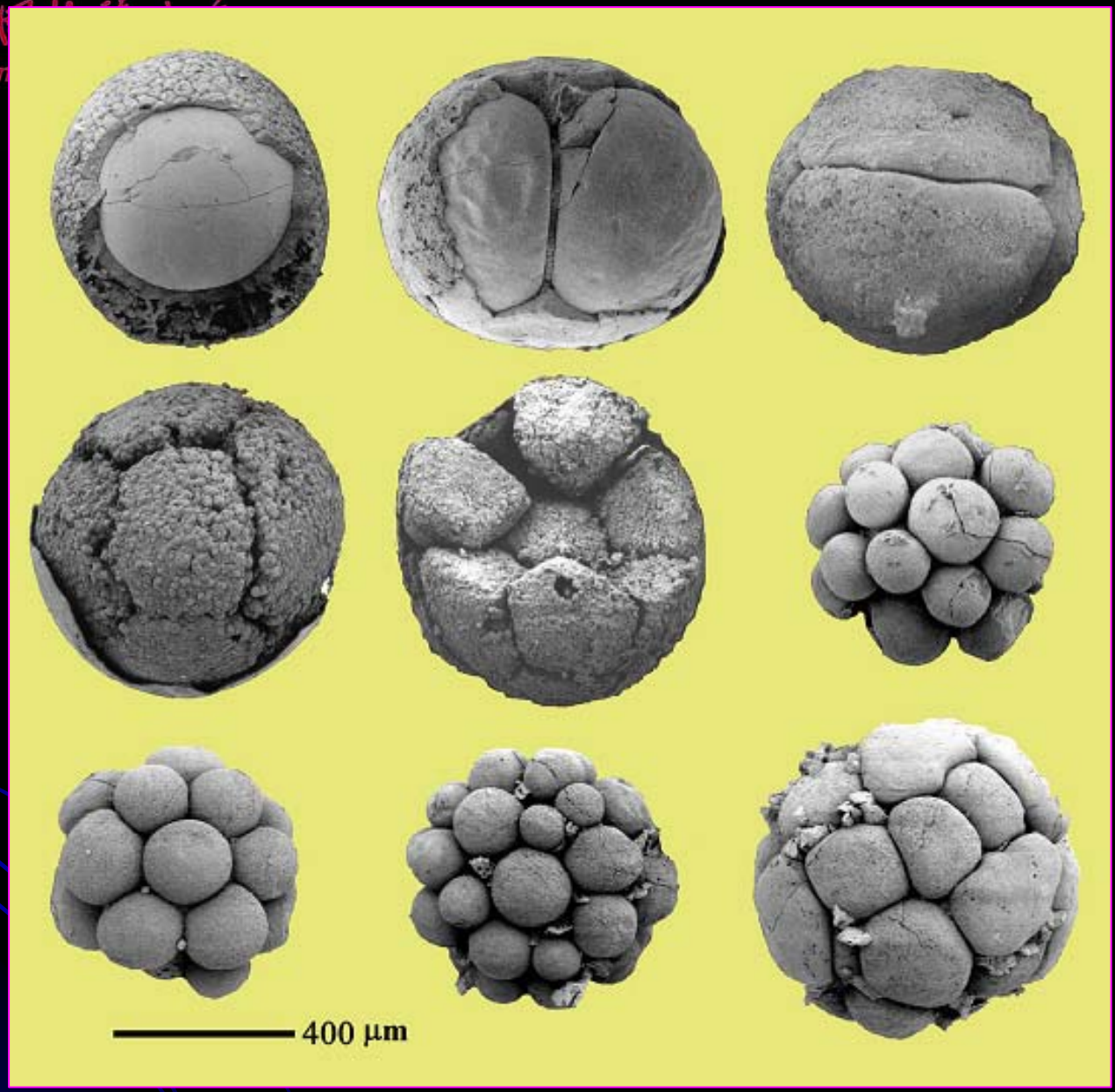


中国山西永济汝阳群（距今10-12亿年）大型带刺的单细胞真核生物化石

显示真核生物在该时期已经具有复杂的细胞骨架。1—水幽沟藻；2—塔盘藻



中国湖北三峡庙河新元古代陡山沱组页岩中的宏体藻类化石（直立崆岭藻）



中国贵州瓮安新元古代陡山沱组磷酸盐化动物胚胎化石
显示动物的授精卵从**1**个细胞开始，以**2n**的增长方式进行细胞分裂

Ediacara Fauna







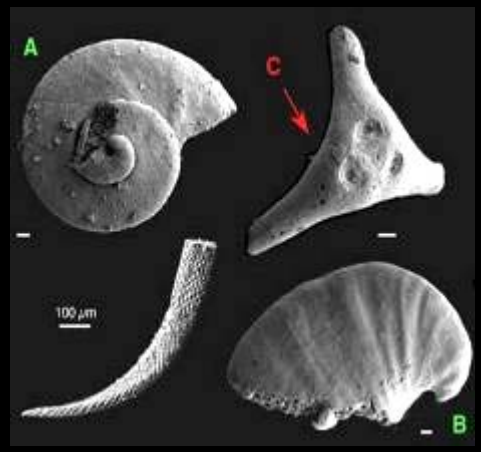




590Ma(?) Wen'an Fauna → **570Ma** Ediacara F. → **543Ma** Meishucun F. → **525Ma** Chenjiang Fauna









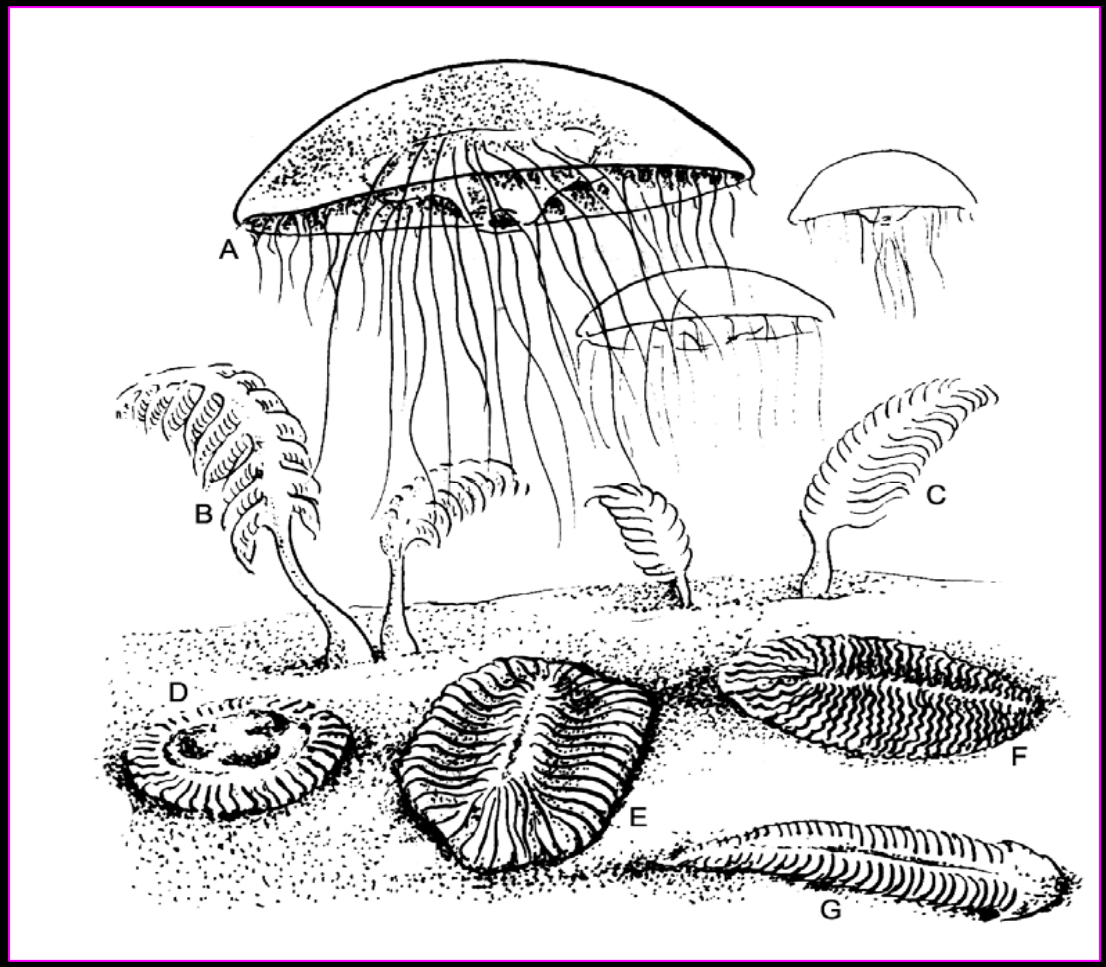
早期生物演化

Ediacara动物群

- 最早发现于澳大利亚南部埃迪卡拉崩德砂岩中，年代为5.6亿年
- 后来在西南非洲、加拿大、西伯利亚、英国、瑞典，以及我国的Ediacaran（震旦系）发现
- 大部分是腔肠动物：水母、水螅、锥石、钵水母、海鳃类等，还有环节动物、节肢动物等

中国地质大学
China University of Geosciences

Ediacara动物群



A. ***Cyclomedusa radiata***（似水母类） **B.** ***Charniodiscus opposites***（似海鳃类） **C.** ***Rangea longa***（似海鳃类） **D.** ***Tribrachidium heraldicum***（分类位置不明） **E.** ***Dickinsonia minima***（分类位置不明） **F.** ***Spinther alaskensis***（分类位置不明） **G.** ***Spriggina floundersi***（分类位置不明）

中国地质大学
China University of Geosciences

Ediacara动物群



演化古生物学

- 生命的起源
- 早期生物演化
- 显生宙的生物演化
- 生物进化的特点和规律

演化古生物学
evolutionary paleontology

生物演化的三个层次

- 小进化(microevolution): 生物在居群内部的演变，是生物进化的起始阶段
- 成种作用(speciation): 是物种分化、增加的过程
- 大进化(macroevolution): 涉及种以上的分类群的进化问题
- 小进化和物种形成主要涉及进化的机理，大进化主要探讨进化的模式

小进化microevolution

小进化的决定因素是变异和遗传以及自然选择

- 变异variability: 是同种生物个体之间的差异，但不包括年龄、性别等方面的差异
- 变异是相关的，有机体一部分发生变异，也会引起其他部分的变异，如哺乳动物对肉食的适应，不仅引起肉食直接有关牙齿和肠的变化，同时还导致指端生爪、肌肉增强等相关变异。于是即有器官相关律 (law of correlation)
- 变异有些能够遗传，有些不能遗传。只有遗传的变异才对进化产生作用

小进化microevolution

变异不仅表现在外部形态上，也表现在内部结构上

- 变异所以能够遗传，是由于有遗传的物质基础。这种物质基础存在于染色体中的遗传因子，即基因(gene)
- 生物遗传内容（基因）的总和，称为基因型(genotype)，它是肉眼看不见的，但是遗传的实质
- 相应地，外表上可以看到的是表现型(phenotype)，它是生物性状的总和，是基因型和外界环境相互作用的结果
- 相同的基因型在相似的环境下，表现型基本上是相似的。但相同的表现型却不一定有相同的基因型

小进化microevolution

在生物进化中，变异是一种创造性因素，遗传是一种稳定性因素

- 没有变异，生物只能产生同样的物种，进化无法进行
- 没有遗传，生物没有相对稳定性，不成其种类，也不可能有进化
- 变异和遗传相互作用是生物进化的基本动力

小进化microevolution

自然选择(natural selection)

- 生物个体之间的变异，有些对生存有利，有些对生存不利。在生存斗争中（争夺食物、生存空间、配偶），具有利变异的个体得到保存，具不利变异的个体受到淘汰
- 自然选择是一个历史过程，需要较长的时间（地质时代），通过遗传把对生存有利的变异一代一代地积累起来
- 自然选择的实质就是使种内居群的遗传物质朝着更有利于适应外界环境的改变

成种作用speciation

从单一始祖居群分化成两个或多个同时物种的过程

- 种(species)既是生物分类的基本单位，也是生物进化的基本单位
- 生物进化的实质，就是种的起源和演变

成种作用speciation

居群(Population)

由栖息在同一地域中的同种生物的个体组成

- 构成种的基本结构的居群，其遗传性状的分异主要决定于基因频率的改变以及自然选择对居群中个体的选择作用
- 在一个居群里，某一等位基因存在的数目或出现的次数，就是这个基因的基因频率(gene frequency)
- 两个居群个体互相交配，遗传物质进行交换，往往引起新的基因的加入，从而有了基因流(gene flow)

成种作用speciation

异域成种作用(allopatric speciation)

- 由于地理隔离而在不同地点产生的成种作用
- 地理隔离(geographical isolation)阻止了基因交流。分布于不同地理环境下的居群，基因得不到交流，性状各自向不同方向发展，最终导致新种的形成

成种作用speciation

同域成种作用(sympatric speciation)

- 尽管多数物种是在地理隔离情况下产生的，但不少研究者认为有些物种可在同一局部地区形成
- 这种成种作用是由于一个居群中栖息地的分化、基因突变、多倍体形成，以及生殖行为不协调等导致生殖隔离引起的
- 这种成种作用在植物界中较多，动物界较少发生

成种作用speciation

世系渐变(phyletic gradualism)

- 达尔文等认为成种作用是渐变的，即一个原始物种在自然选择作用下，性状逐渐分化经变种而成新种，达尔文称之为性状分歧(divergence of character)
- 据此模式，就应该在连续地层的化石记录中见到进化连续体，即应该存在一系列的中间过渡类型

成种作用speciation

间断平衡(punctuated equilibria)

- N. Eldredge和S. J. Gould分别根据泥盆纪三叶虫和更新世陆生腹足动物的研究共同提出
- 他们认为一个谱系的进化是由物种形成时的迅速变化时期和形态没有什么变化的静态平衡时期所组成
- 一旦旧种绝灭，其原来占据的生活地域又被新种占据，从而使新种数量增加，并获得广泛分布。但这时遗传性状趋于稳定，不再发生明显变化

成种方式

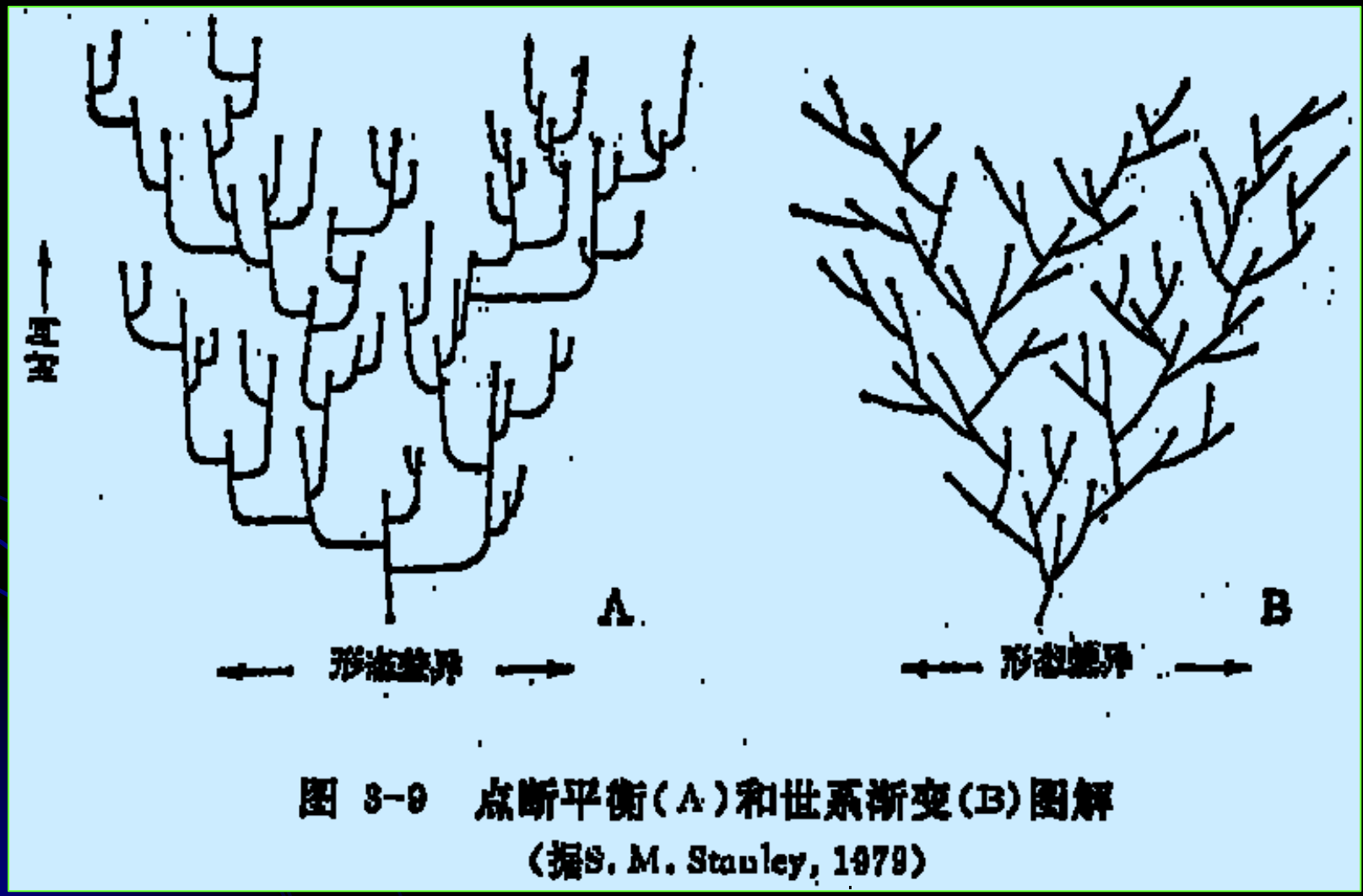


图 8-9 点断平衡(A)和世系渐变(B)图解
(据S. M. Stanley, 1979)

大进化macroevolution

- 是指发生在种以上分类群的特征演变，是长期的地质历史过程，而不象小进化在较短的世代更迭中就能显示出来
- 小进化的研究主要采用遗传学和生态学的方法，而大进化则要借助于古生物学和比较形态学的研究
- 大进化是种选择(species selection)的结果，而小进化受控于自然选择
- 与自然选择不同，种选择的变异来源是成种作用，而不是基因突变和基因重组；其选择的结果是种的生存和绝灭，而不是个体的生和死

显生宙的生物演化事件

- 小壳动物群的出现和分异
- 澄江动物群
- 寒武纪生物大爆发
- 动物体分化重大事件
- 动植物从水生到陆生发展
- 生物的灭绝与复苏

显生宙的生物演化事件

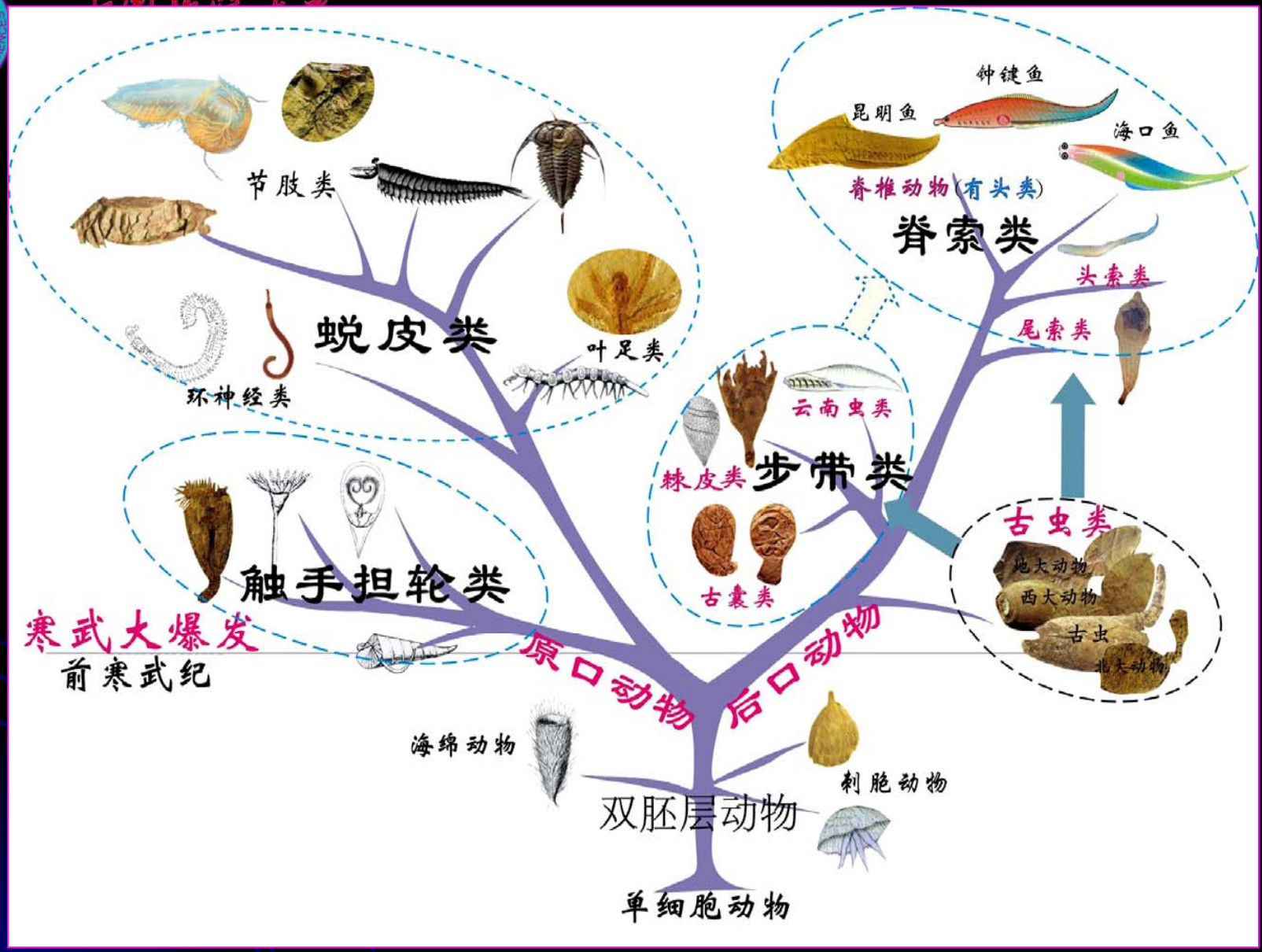
小壳动物群的出现和分异

- 小壳动物群个体微小(1-2mm)，主要为海生无脊椎动物，包括软舌螺、单板类、腹足类、腕足类等
- 小壳动物群始于埃迪卡拉纪（震旦纪）末期，寒武纪初大量繁盛
- 动物界完成了从无壳到有壳的演变

显生宙的生物演化事件

寒武纪生物大爆发

- 寒武纪初（5.3-5.4亿年），几乎所有具硬体的动物门及绝大部分的纲都已出现
- 造门的时代
- 以节肢动物门三叶虫纲占优势，占60%，次为腕足动物门，占30%



寒武纪大爆发谱系树（**5.3**亿年前）

显生宙的生物演化事件

澄江动物群

- 发现于云南的澄江和晋宁地区下寒武统(5.3亿年前)中，1984年发现以来已被描述化石120余种，其10多个动物门及一些分类位置不明的奇异类群，还有多种藻类
- 包括大量无壳和有壳动物化石，包括水母、三叶虫、蠕虫类、甲壳类、腕足类，甚至脊索动物等
- 在早寒武世不到两千万年时间内，现生地球上各个动物门类几乎都已先后出现



澄江动物群复原图

显生宙的生物演化事件

动物体分化重大事件

- 单细胞——→多细胞
- 原生动物——→后生动物
- 两胚层动物——→三胚层动物
- 无器官、无组织——→有器官、组织
- 无脊椎动物——→脊椎动物

中国地质大学
China University of Geosciences

显生宙的生物演化事件

动植物从水生到陆生发展

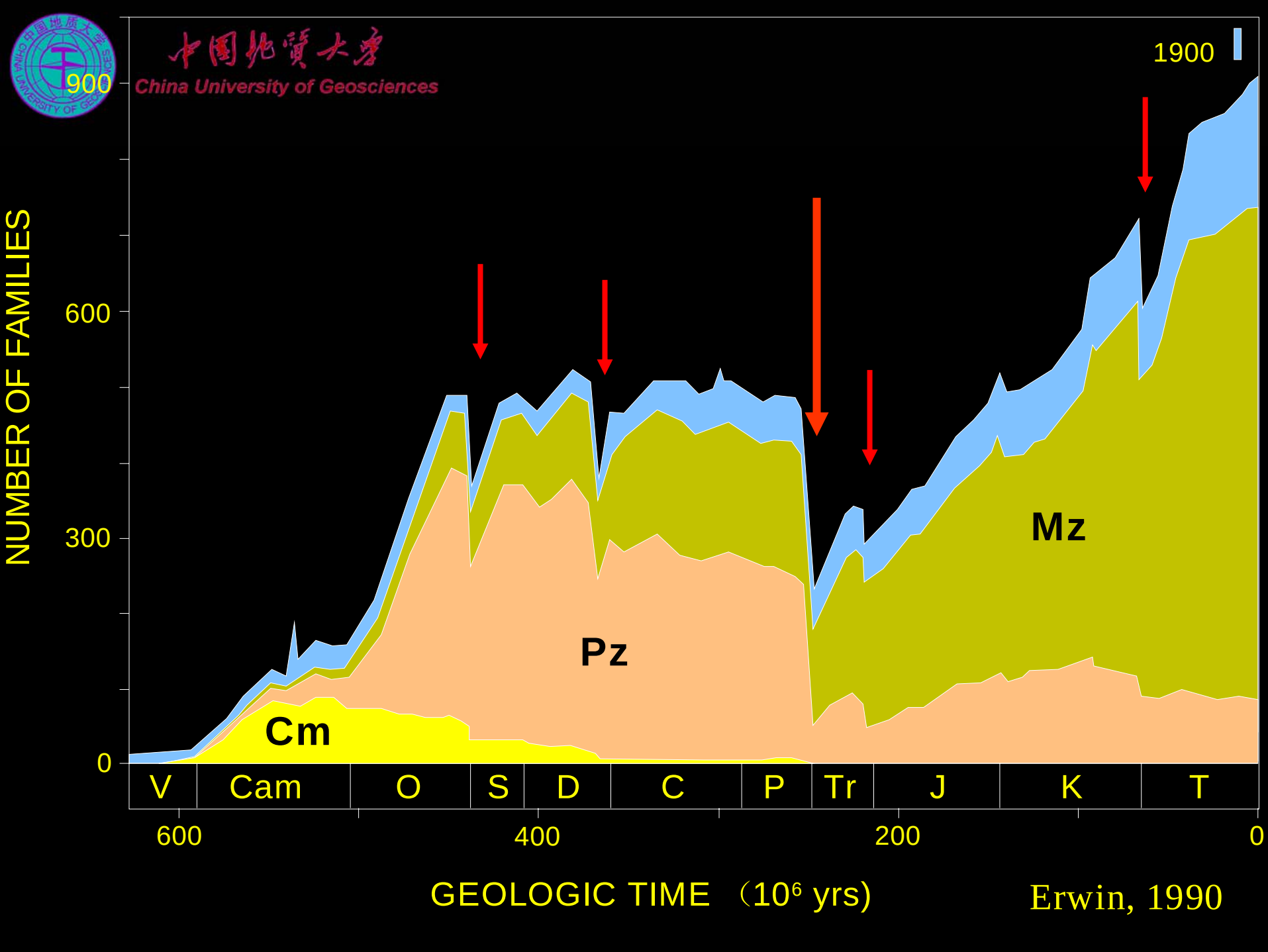
- 植物：
- S以前，仅低等菌藻类，完全水生
- S末-D_{1-2}：向陆地发展，产生茎、叶分化，出现原始维管束，茎表皮角质化、具气孔
- D_2：具叶植物大发展
- T_3：显花植物祖先出现
- 脊椎动物：
- S_3：四足类祖先出现（总鳍鱼类中的骨鳞鱼）
- D_3：两栖类发生
- C_2：爬行类发生（羊膜卵）

中国地质大学
China University of Geosciences

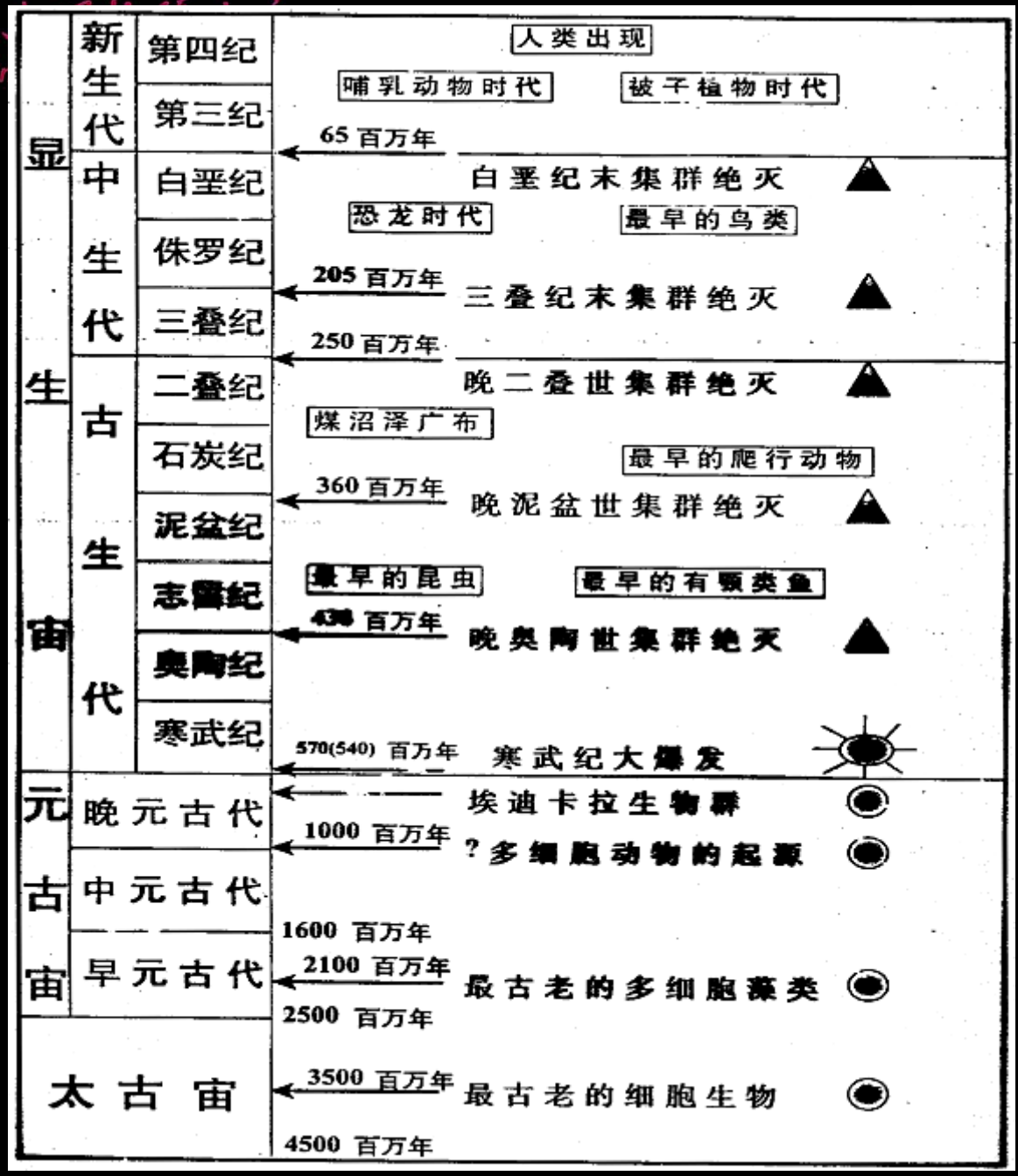
显生宙的生物演化事件

生物的灭绝与复苏

- 灭绝extinction：生物种系的终止、不留下后代
- 假灭绝pseudo-extinction：生物种系演变为新种系，而旧类别消失
- 背景灭绝background extinction：生物种系的自然更替灭绝，一般0.1-1.0种/Ma
- 集群灭绝mass extinction：生物灭绝率突然数十倍地增高
- 生物复苏biotic recovery：大灭绝后的生物群，通过生物的自组织作用及对新环境的不断适应，逐步回到正常发展水平


中国地质大学
China University of Geosciences
900
1900
NUMBER OF FAMILIES
600
300
0
Cm
Pz
Mz
V
Cam
O
S
D
C
P
Tr
J
K
T
600
400
200
0
GEOLOGIC TIME （10⁶ yrs)
Erwin, 1990

地史时期的重大地质事件



演化古生物学

- 生命的起源
- 早期生物演化
- 显生宙的生物演化
- 生物进化的特点和规律

生物进化的特点和规律

进步性发展

- 少——→多，简单——→复杂，低级——→高级
- 生物发展的阶段性：原核——→真核；单细胞——→多细胞；多细胞体制不断改进
- 生物进化的重大突破：异养——→自养；两极（合成者+生产者）——→三极（生产者+消费者+还原者）生态系；水生——→陆生

生物进化的特点和规律

进化的不可逆性

- 在生物演化过程中，已经灭绝的生物和退化的器官，在以后的历史中就不可能再次出现

生物进化的特点和规律

器官相关律

- 环境条件变化使生物的某些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

生物进化的特点和规律

重演律（生物发生律）

- 个体发育史是系统发育史的简短而快速重演
- 个体发育：即个体从生命开始到死亡为止的演变过程

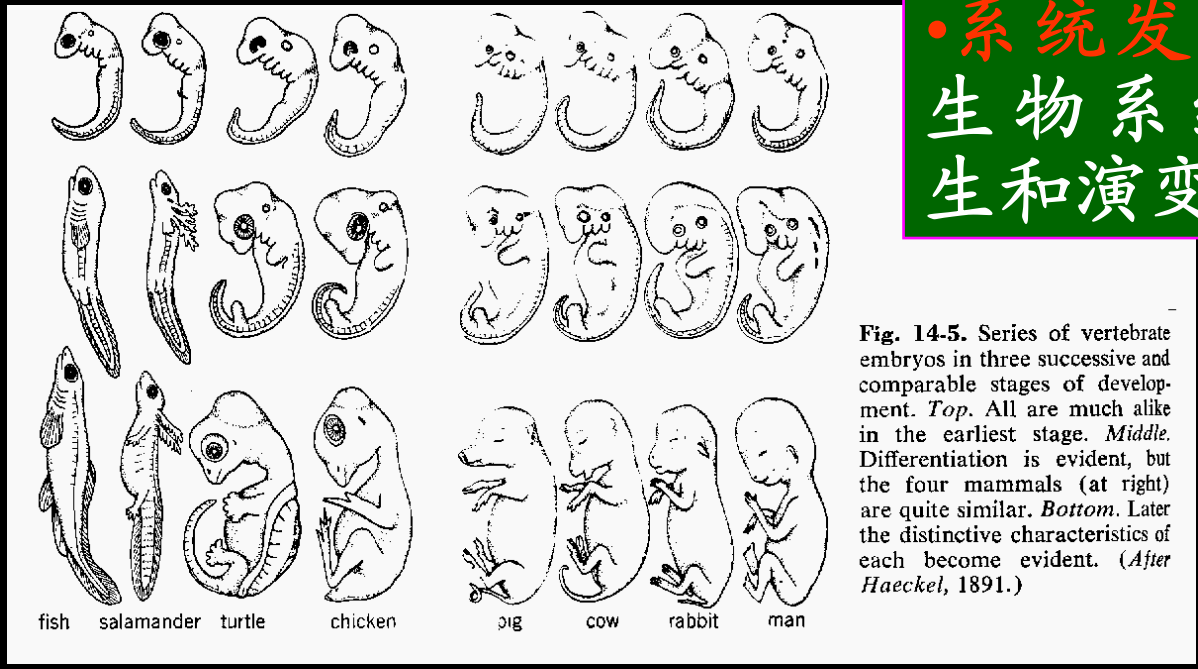


Fig. 14-5. Series of vertebrate embryos in three successive and comparable stages of development. *Top.* All are much alike in the earliest stage. *Middle.* Differentiation is evident, but the four mammals (at right) are quite similar. *Bottom.* Later the distinctive characteristics of each become evident. (*After Haeckel*, 1891.)

- 系统发育：即生物系统的发生和演变过程

生物进化的特点和规律

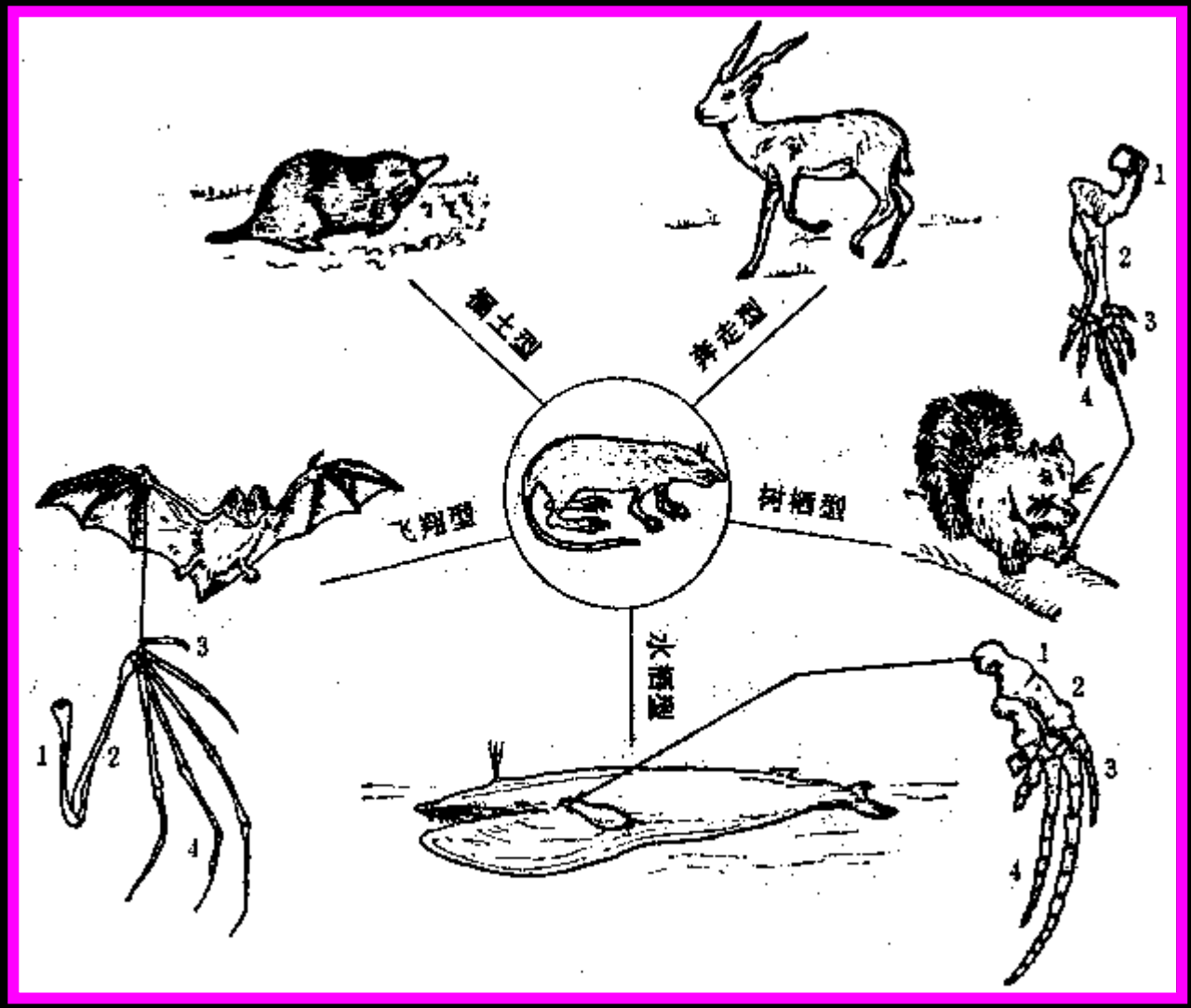
适应与特化

- 适应：在长期的演化过程中，由于自然选择的结果，生物在形态结构及生理机能上，与其生存环境取得良好协调一致
- 特化：生物对某种生活条件特殊适应的结果。它们在形态和生理上发生局部变异，但其整个身体的组织结构和代谢水平并无变化

生物进化的特点和规律

适应辐射与趋同

- 适应辐射：生物进化过程中，由于适应不同的生态条件或地理条件而发生物各分化
- 适应趋同：亲缘关系疏远的生物，由于适应相似的生活环境而在形体上变得相似



适应辐射

适应趋同

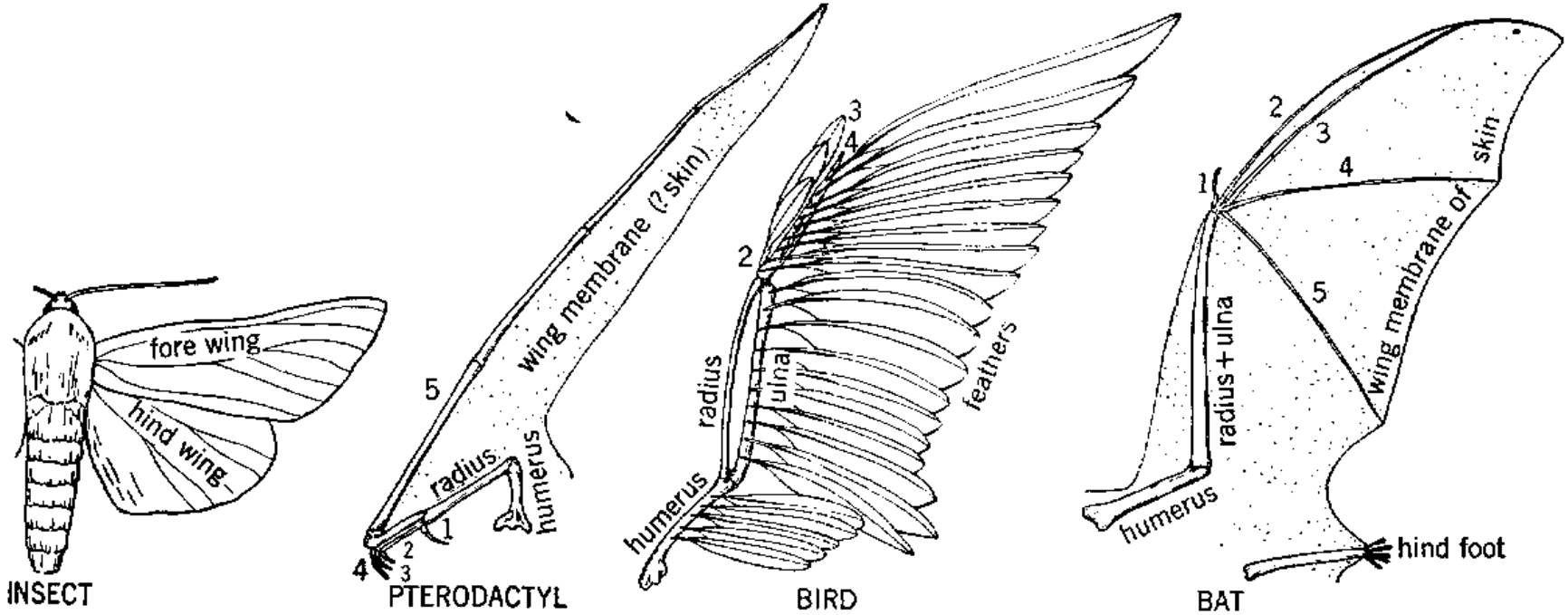


Fig. 14-1. *Analogy* between wings of insects (no internal skeleton) and of vertebrates (with skeleton)—of like function but different origins. *Homology* in the wing bones of vertebrates, all derived from the common pattern of fore limb in land vertebrates, but variously modified. Pterodactyl (extinct reptile) with very long 5th finger; bird with 1st and 5th lacking, 3d and 4th partly fused; bat with 2d to 5th fingers long.

Storer and Usinger, 1965

适应趋同

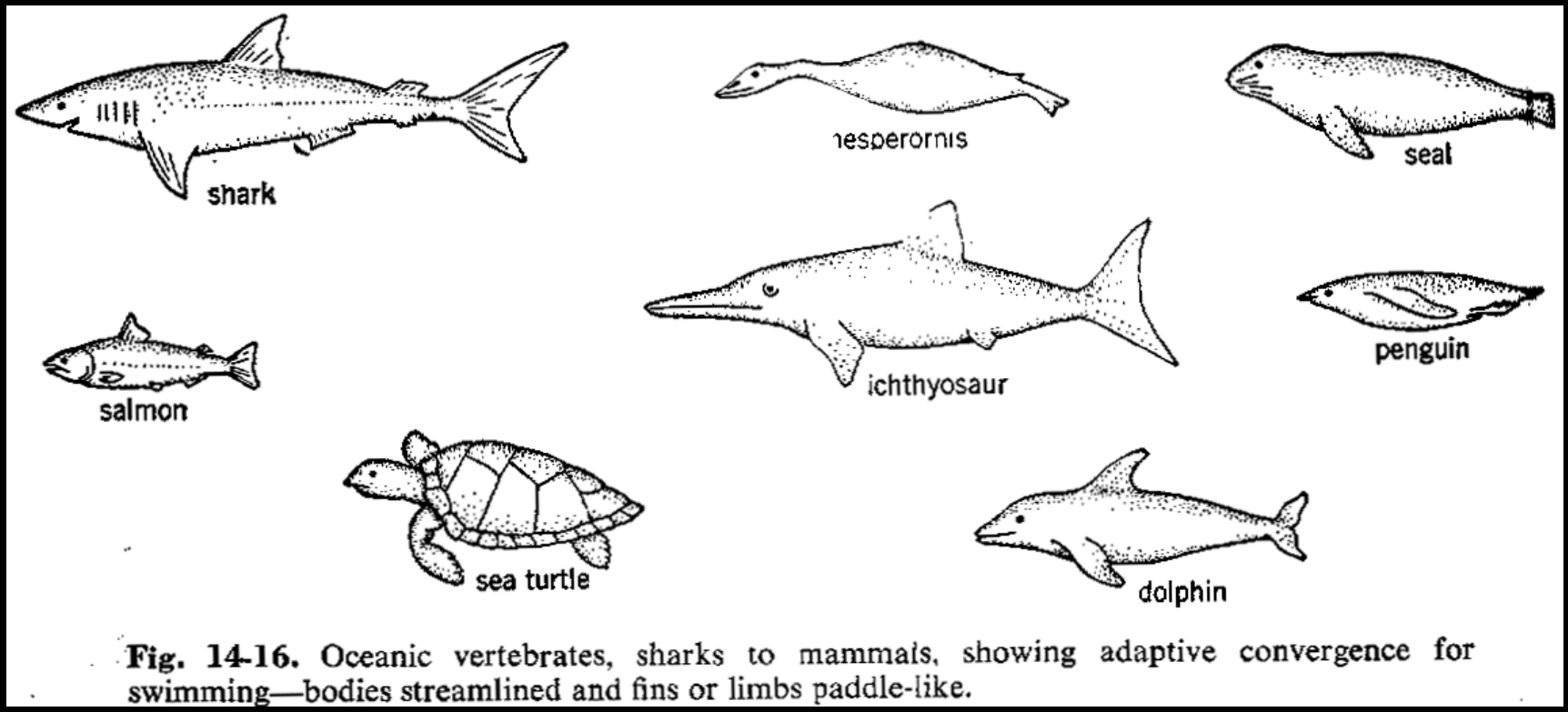


Fig. 14-16. Oceanic vertebrates, sharks to mammals, showing adaptive convergence for swimming—bodies streamlined and fins or limbs paddle-like.

Storer and Usinger, 1965

显生宙生物进化重大事件

- 无脊椎动物的两侧对称体制进一步发展，出现许多带壳的较高等门类（寒武纪）
- 神经系统进一步发展，中枢神经系统集中化，产生了原始脊索动物和脊椎动物（无颌纲）（寒武纪）
- 陆生植物的出现（志留纪到泥盆纪）
- 鱼纲的鳔和鳍分别向肺和足进化，动物（两栖纲）登陆获得初步成功（泥盆纪）
- 羊膜卵的出现，从两栖纲分化出陆生的爬行动物（晚石炭世）
- 从变温到恒温的转变，产生原始哺乳动物（三叠纪）
- 高等被子植物的出现（晚三叠世）
- 灵长类的手和脑的形成，劳动工具的创造，语言和概念思维的产生，终于发展成人类（第四纪）