

现代生物学导论

XII 生命起源和生物进化

(书上第7章)

闫永彬

ybyan@tsinghua.edu.cn

投票 最多可选1项

期末考试时间:

- A 第十五周六 (6.8) 晚上
- B 第十五周日 (6.9) 晚上
- C 两个时间都可以

投票 最多可选1项

希望期末考试为:

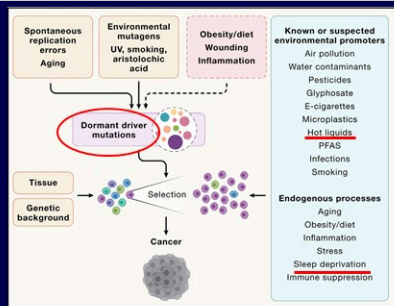
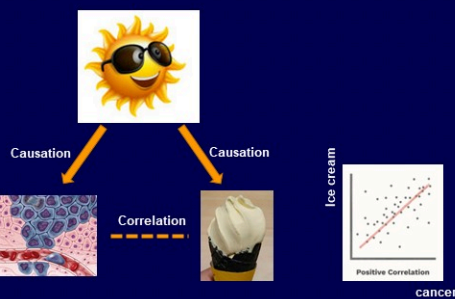
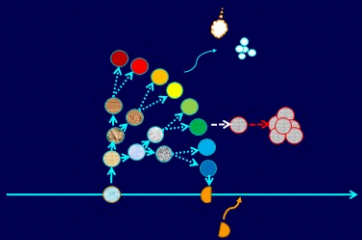
- A 开卷 (允许带教材、讲义等纸质材料)
- B 半开卷 (允许带一页A4纸)
- C 闭卷

投票 最多可选1项

希望姓名或姓名缩写出现在期末考题中:

- A YES
- B NO
- C 听yan sir的~

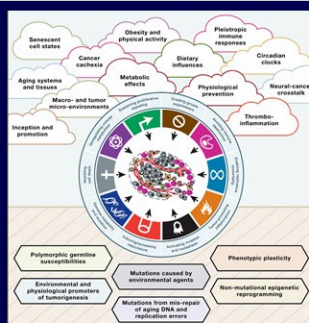
Yan sir: 细胞社会是一个有序的、动态平衡的规则体系

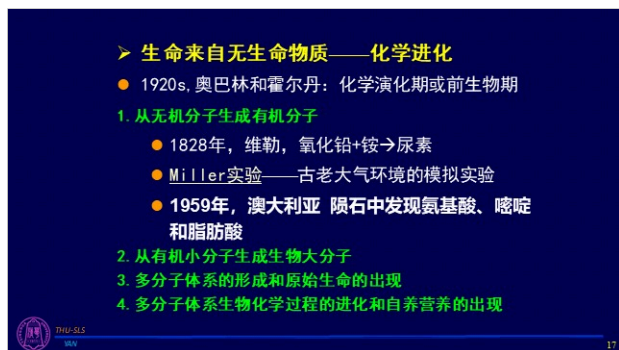
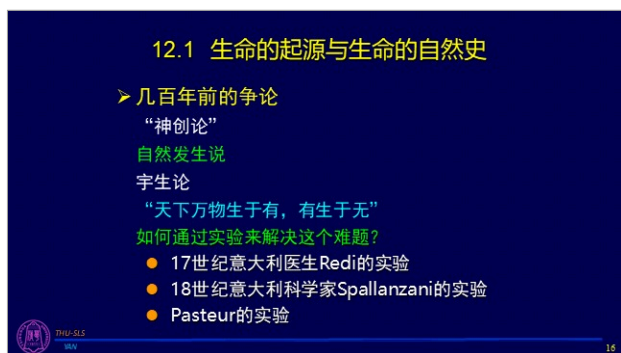
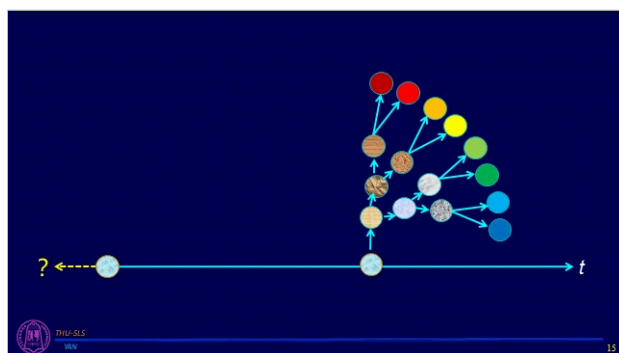
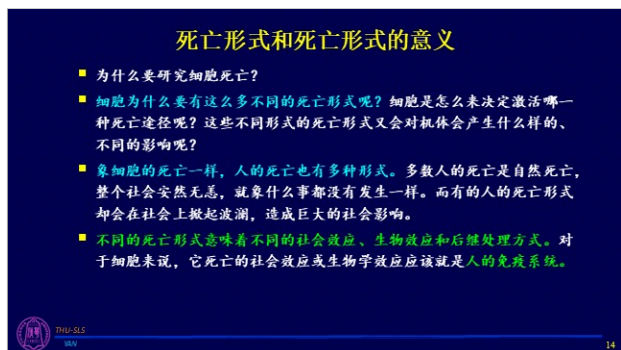
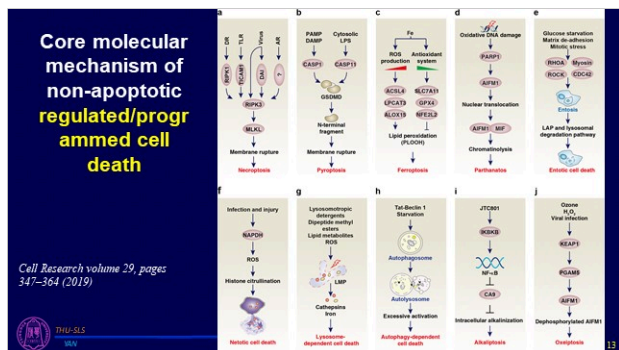
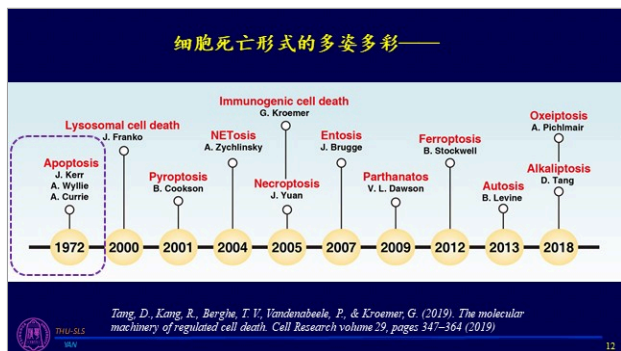


Cell 187, March 28, 2024 * 2024 Published by Elsevier Inc. 1589

Cell
Leading Edge
Perspective
Embracing cancer complexity: Hallmarks of systemic disease

Cell 187, March 28, 2024 * 2024
Published by Elsevier Inc. 1589

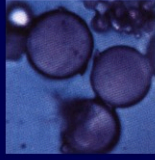




生命起源说与RNA world

蛋白质起源假说/多分子体系证据

- 奥巴林的团聚体 (coacervate) 假说(1924): 用蛋白质(白明胶)和多糖(阿拉伯胶)混合得到团聚体
- 福克斯用类蛋白质加热得到微球体



- 1, 有序结构
- 2, 可以复制
- 3, 原始膜



19

生命起源说与RNA world

核酸起源假说

- 遗传学家Muller (20年代) 提出“裸基因说”(naked gene theory): 生命发生从基因开始;
 - T.Cech (1981) 发现具有催化活性的RNA—ribozyme
 - H.F.Noller (1992) 发现纯化的rRNA有催化肽链合成的功能
- 具有催化活性的RNA: 包括rRNA和tRNA;
完成多种功能: 自我剪接; 催化剪切; 多肽合成; 催化核苷酸的合成等



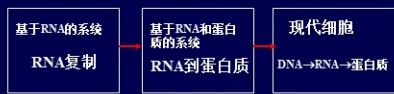
20

RNA world

RNA既能储存信息, 也能催化化学反应

- (1) RNA初始序列作为互补序列模板;
- (2) 互补序列作为模板, 合成具初始序列RNA分子。

RNA在进化上早于DNA: RNA world如何转化为DNA world



生物大分子的化学分工与进化

DNA较RNA稳定, 有利于遗传稳定性;

蛋白质多样性大于RNA, 有利于反应复杂性的进化



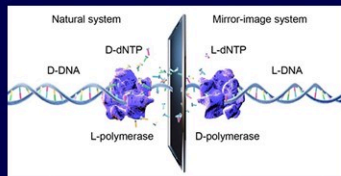
22

Science 29 November 2013:
Vol. 342 no. 6162 pp. 1032-1034



23

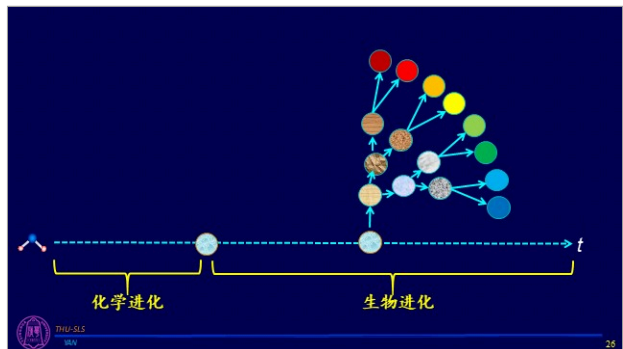
镜像世界?



2016年5月16日, 生命学院朱昕课题组与化学系刘磊课题组合作在 Nature Chemistry杂志在线发表了题为 "A synthetic molecular system capable of mirror-image genetic replication and transcription" 《合成镜像生物分子系统实现遗传信息复制与转录》的论文。

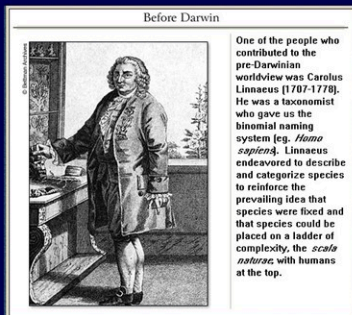


24



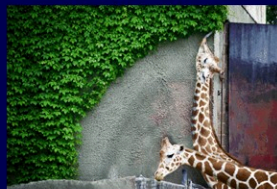
24

林奈是物种不变论的支持者



25

Lamarck的用进废退学说



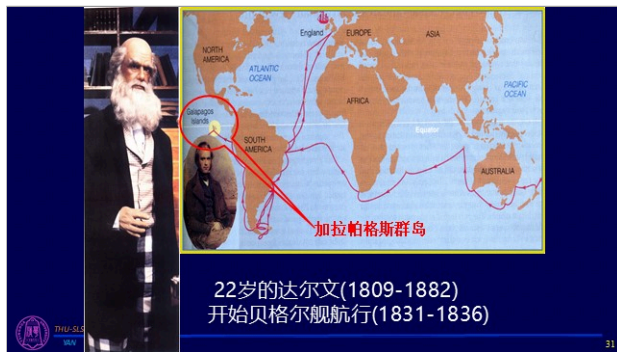
在他看来, 生物界是一个从最简单、最原始的微生物按次序上升到最复杂、最高等的人类的阶梯;

而所谓生物进化, 就是从非生物自然产生微生物, 微生物进化成低等生物, 低等生物进化成高等生物, 直到进化成人的过程。

他认为, 这个进化过程是不断在重复, 至今仍在进行着的。也就是说, 在今天, 聪明的猩猩仍在尽力进化成人。



30



12.2.2 达尔文的自然选择学说

- ◆ 遗传与变异
变异是随机产生的，而非按需要向一定的方向发生
- ◆ 繁殖过剩
一对家蝇繁殖一年，若每代1000个卵，如果后代不死亡，后代可以把整个地球覆盖2.54cm之厚。
- ◆ 生存斗争
- ◆ 适者生存

12.2.2 达尔文的自然选择学说

- ◆ 自然选择过程即生存斗争与适者生存的过程
达尔文的理论将遗传和适应分开，遗传问题由生物去做；然后生物无方向的变异由自然进行适应性选择，因此经自然选择保留下来的生物按照与环境相适应的方向发展。
- ◆ 生物多样性来自环境对变异的适应性选择和长期积累。

达尔文在《物种起源》中主要论证了两个问题：

- 1, 物种是可变的，很快被多数科学家接受
- 2, 自然选择是生物进化的动力
当时的生物学家对接受这一点犹豫不决，因为自然选择学说在当时存在着三大困难。

达尔文的三大难题

- 第一，缺少过渡型化石
按照自然选择学说，生物进化是一个在环境的选择下，逐渐地发生改变的过程。
发表两年后，从爬行类到鸟类的过渡型始祖鸟出土了
- 第二，地球的年龄
既然自然选择学说认为生物进化是一个逐渐改变的过程，它就需要无比漫长的时间。
当时物理学界的泰斗威廉·汤姆逊用热力学的方法证明地球只有一亿年的历史。
- 第三，自然选择的遗传机理
当时的生物学界普遍相信所谓“融合遗传”：父方和母方的性状融合在一起遗传给子代。Jenkin：一个优良的变异会很快地被众多劣等的变异融合、稀释掉（为什么不对？）。

在1872年，达尔文写道：

“遗传的定理绝大部分依旧未知。
没有人能够说明在同一物种的不同个体中的相同特性，或在不同物种中的相同特性，为什么有时候能够遗传，而有时候不能；
为什么孩子能回复其祖父母甚至更遥远的祖先的某项特征。”

现代综合进化论

- ◆ 达尔文主义和孟德尔主义的开始融合，是在孟德尔定律被重新发现之后二十年的事。
孟德尔1865年，1900年
- ◆ 英国人费歇(Fisher): 1930年《自然选择的遗传理论》
英国人霍尔登(Haldne): 1932年《进化的动力》；
美国人莱特(Wright): 1931年《孟德尔群体中的进化》
- ◆ 美籍俄国人杜布瓦斯基: 1937年《遗传学和物种起源》
- ◆ 赫胥黎: 1942年《进化：现代综合》

◆12.3.1 Hardy-Weinberg定律

◆History——数学家如何拯救了生物学

英国的遗传学家普纳特
与他的朋友、著名的数学家哈代(哈迪)共进午餐。
普纳特向哈代介绍了孟德尔定律，说出了自己的困惑。
哈代拿起笔在餐巾上算了一番，得出结论。
普纳特大喜过望，要求把结果发表。哈代却拒绝了。
后来普纳特把它发表，称为“哈代定律”。
一些数学家(例如英国数学家哈代)看来，
德国的生物学家也独立作出了同样的发现。
哈代-温伯格定律(1908年)
哈代-温伯格定律，
而应用数学则是丑陋和无趣的。

12.3 达尔文进化论的发展——

现代综合进化论 (modern synthesis)

- ◆ **种群而非个体是生物进化的单元**;
- ◆ **种群**是指一个地域中某一物种的全体成员能通过有性生殖而交流基因的群体。
- ◆ **基因库 (gene pool)** : 一个种群全部个体所带有的全部基因 (包括全部等位基因) 的总和, 就是一个基因库。



40

◆ **基因频率 (gene frequency)** : 一个种群内某一等位基因占它的全部等位基因总数的比例, 即为该基因的频率。

◆ **基因型频率 (genotypic frequency)** : 在一个种群内, 由同源染色体同一位点上的等位基因所构成的不同基因型所占的比例, 就是基因型频率。



41

◆ 12.3.1 Hardy-Weinberg (哈迪-温伯格) 定律

◆ 定律的内容

一个有性生殖的自然种群中, 在符合下列五个条件的情况下: ①种群大; ②随机交配; ③没有突变发生; ④没有新基因加入; ⑤没有自然选择。各等位基因和基因型频率将在世代遗传中保持稳定不变。

遗传不会影响基因频率



43

◆ Hardy-Weinberg定律的数学表达式:

$$(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

p: 等位基因A的频率; q: 等位基因a的频率;
 p^2 : 基因型AA的频率; $2pq$: 基因型Aa的频率;
 q^2 : 基因型aa的频率。

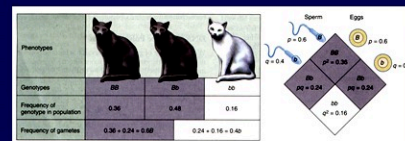


FIGURE 19.4 The Hardy-Weinberg equilibrium. In the absence of factors that alter them, the frequencies of genes, genotypes, and phenotypes remain constant generation after generation.



44

◆ 12.3.2 群体基因频率的改变

1、种群的大小的影响

✖ **遗传漂变 (genetic drift)** : 小种群某一基因由于某种偶然原因而丢失, 引起种群基因频率改变。



46

例如某基因频率为0.02, 有50个个体, 因此则只有一个个体携带该基因, 若该个体偶然死亡或失去交配机会, 结果下一代该基因将从群体中消失, 从而改变基因频率。



47

✖ **建立者效应 (founder effect)** :

表示小种群可以造成特殊的基因频率。

例如某一种群中的几个或几十个个体迁移到另一个地区而定居下来, 并与原种群隔离而自行繁衍后代, 结果产生与原种群不同的特殊的基因频率, 新的特殊的基因频率取决于建立者的基因频率。



48

✖ **瓶颈效应 (bottle neck effect)** :

种群个体数量随季节变化, 数量减少的时期即瓶颈时期, 结果与建立者效应相似。

杀虫剂在防治害虫时的启示:

利用负交互抗性的杀虫剂

杀虫剂的选择作用: 抗性基因增多; 敏感基因减少

寒冷的选择作用: 敏感基因增多; 抗性基因减少



49

2、非随机交配的影响；

3、突变和新基因加入（新个体迁入）的影响；

4、自然选择的作用在于定向地改变种群的基因频率；

抗生素滥用的危害
人工选择



50



51



由于个体迁移造成基因频率的改变



52

选择改变基因频率

计算表明，假如一个基因的选择压为0.001，即1000对999的选择优势，那么一个频率为0.00001的显性基因只要23400代就可增加到0.99的频率。



53

自然选择的类型

☆ 定向性选择 (directional selection)

抗性选择

含油量选择

英国椒花蛾体色

结果是选择了种群中的极端类型

☆ 稳定型选择 (stabilizing selection)

即选择中间类型而淘汰两极端类型，是对抗基因突变和基因漂变的选择，使适应性强的个体稳定地存在。

☆ 中断性选择 (disruptive selection)

即淘汰中间类型，保持两极端类型的选择。



54

现代综合进化论的发展

◆ 达尔文进化论：进化是靠微小变异的缓慢积累实现

◆ 现代综合进化论难于合理解释生物“大进化”过程

◆ 生物“大进化”过程并非“渐变”和“匀速”的，而是“快速进化”和“进化停滞”相间的。



54

◆ 物种的“大爆发”和物种的集群“大绝灭”现象如奥陶纪末无脊椎动物100多个科大绝灭，鱼类辐射发生；白垩纪晚期恐龙大绝灭，第三纪早期哺乳动物大发生。

◆ 大进化相间发生提示：外源性的自然选择对进化的推动作用是有条件和有限条件的，生物自身可能存在更为深层的进化机制。



57

◆ 分子进化的中性学说 (neutral theory of molecular evolution, 1968年，日本遗传学家木村资生M. Kimura)

◆ 突变大多是中性的，不影响核酸与蛋白质的功能；

◆ 中性突变通过随机的遗传漂变在群体中得以固定，因此自然选择对分子进化不起作用；



58

◆进化的速率由中性突变发生的速率所决定;

◆同源的生物大分子序列存在相对恒定的进化速率

与人的细胞色素 c 序列 (共 104 个氨基酸) 相比, 其序列的差异百分比如下:

黑猩猩: 0	罗猴: 1	兔: 9
鸡: 13	响尾蛇: 13	牛蛙: 17
金枪鱼: 20	果蝇: 27	小麦: 38
酵母菌: 41	紫红螺旋菌: 65	

THU-SLS
WU

DNA和蛋白质序列信息中蕴含着生物进化的信息
——可以通过序列比对来确定亲缘关系和进化上的位置

<i>Homo sapiens</i>	YDCDCDCADFHLYLSRCSI
<i>Bos taurus</i>	YSDCDCADFHMYLSRCSI
<i>Mus musculus</i>	YDCDCDCADFRSYLSRCSI
<i>Rattus norvegicus</i>	YDCDCDCVDFRSYLSRCSI
<i>Canis familiaris</i>	YDCDCDCADFHMYLSRCSI
<i>Cyprinus carpio</i>	YECDSDCSDFHFLNRCSI
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	YDCDCDCSDFHLYLSRCSI
<i>Macropus fuliginosus</i>	YECDSDCPDFHLYLSRCSI

Wang et al., IJBM, 2021

THU-SLS
WU

DNA和蛋白质序列信息中蕴含着生物进化的信息
——可以通过序列比对来确定新冠病毒株的亲缘关系和进化上的位置

Nature volume 603, pages 706–714 (2022)
Altered TMPRSS2 usage by SARS-CoV-2 Omicron impacts infectivity and fusogenicity
<https://www.nature.com/articles/s41586-022-04474-x>

THU-SLS
WU

