

Lecture 15+16

进化和生物多样性

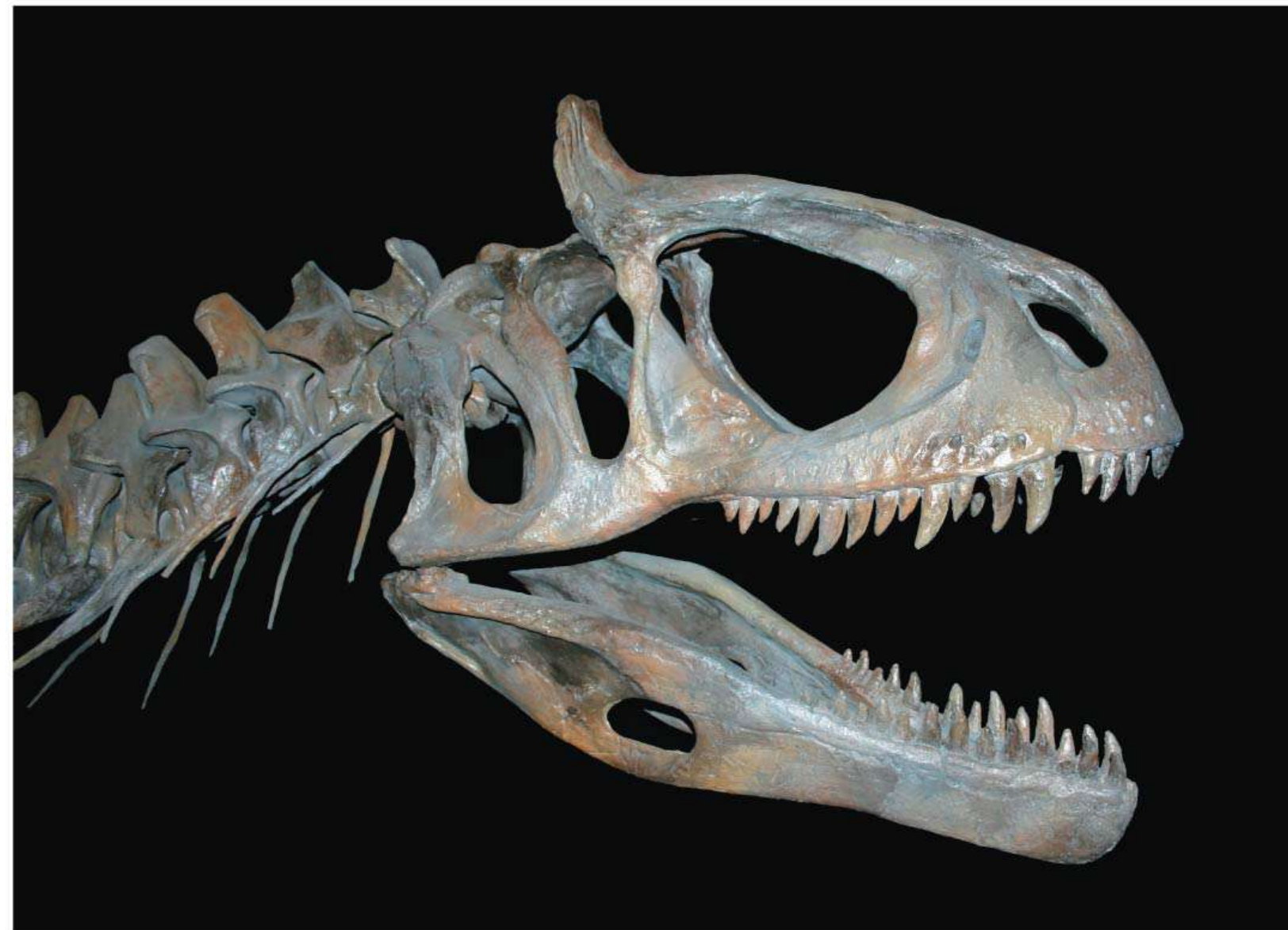
授课教师：孙亚东



遗传变异

种群的演化

种群演化的机制



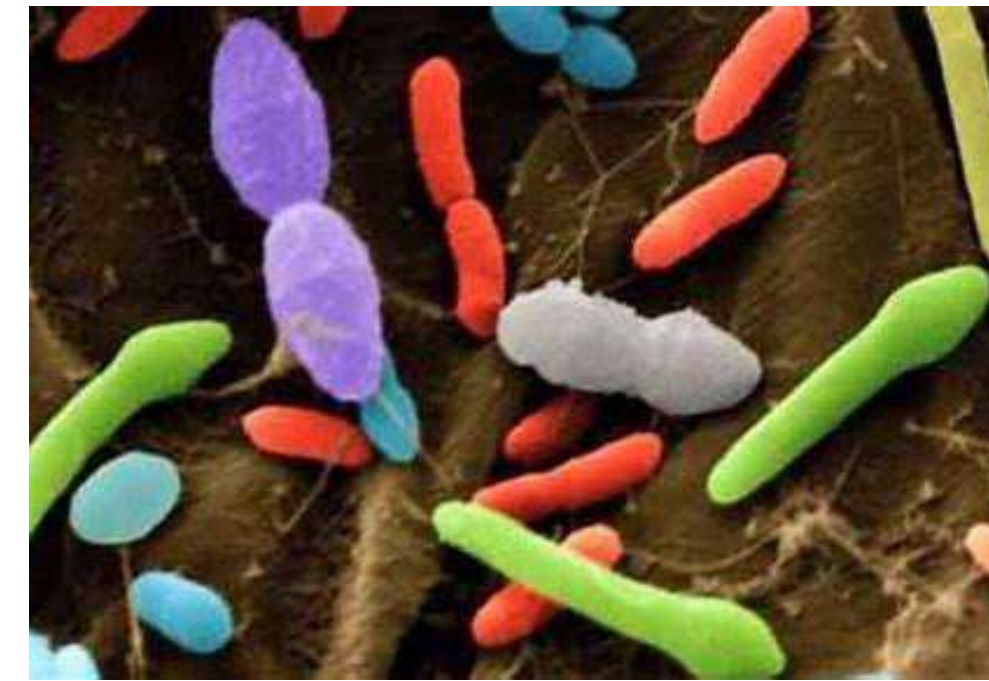
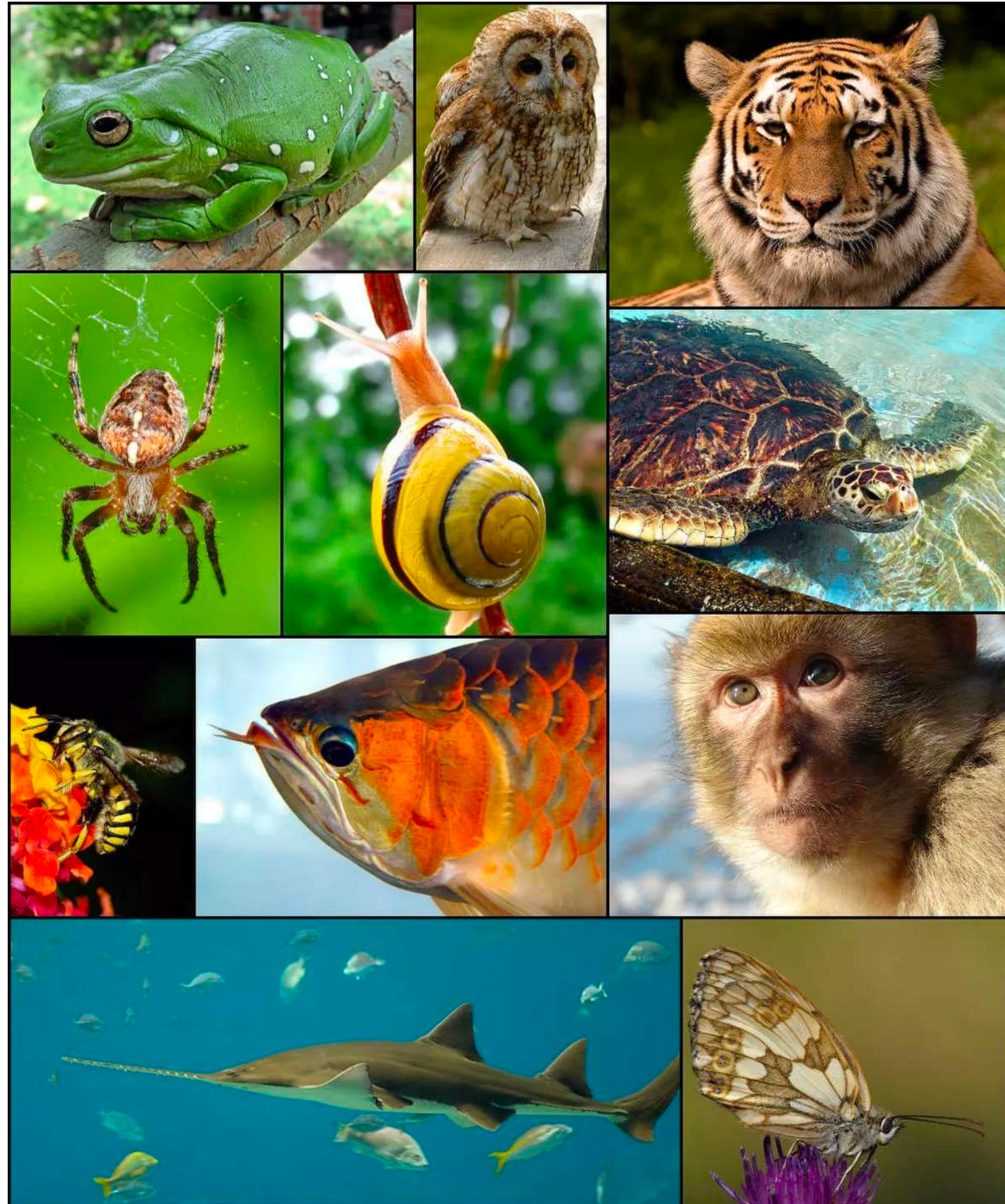
Cryolophosaurus skull
(冰脊龙)

Lost worlds



6600万年前，一颗小行星撞击地球导致大型非鸟类恐龙灭绝，随后2500万年里地球上大型食草动物也消失不见。

纷繁复杂的生命世界，存在什么逻辑么？



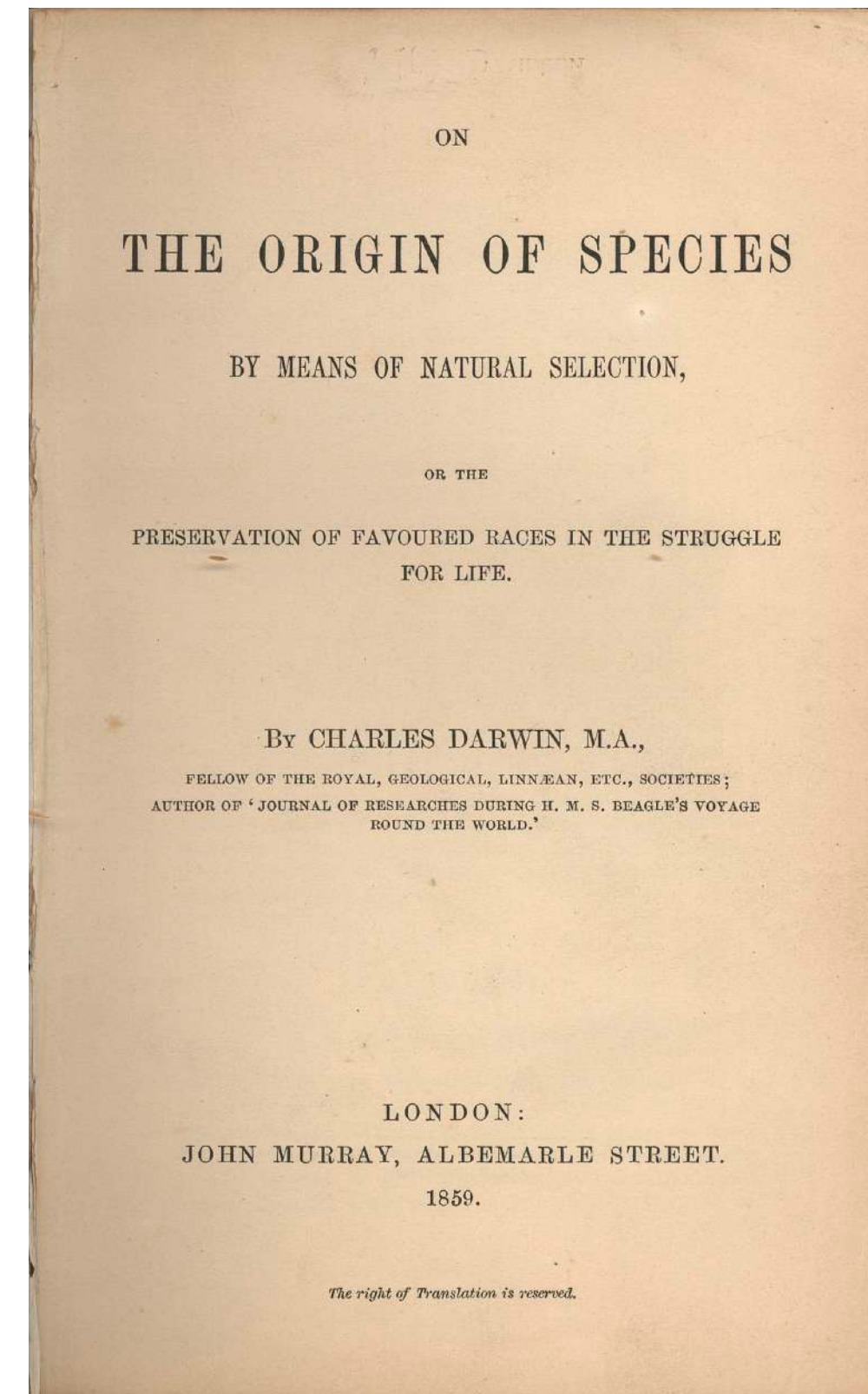
达尔文演化理论

生物演化中两个基本独立的过程

- 纵向——演变 (Transformation)
- 横向——多样化 (Diversification)

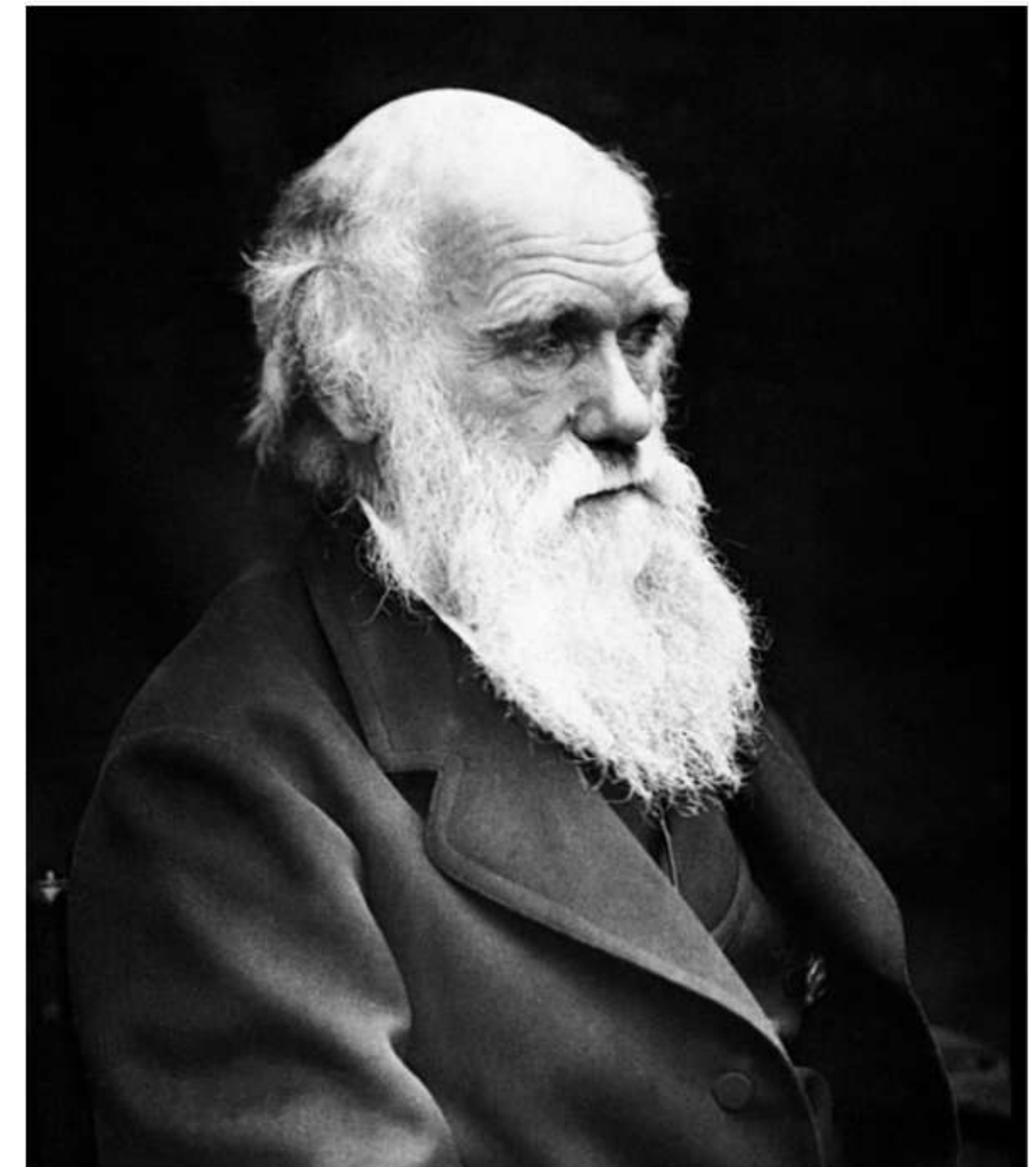
演化最根本的问题：

— 某个物种转变成另一个物种



《物种起源》

1859



达尔文

(1809-1882)

适应环境



► A flower mantid in Malaysia



◄ A flower-eyed mantid in South Africa



► A leaf mantid in Borneo



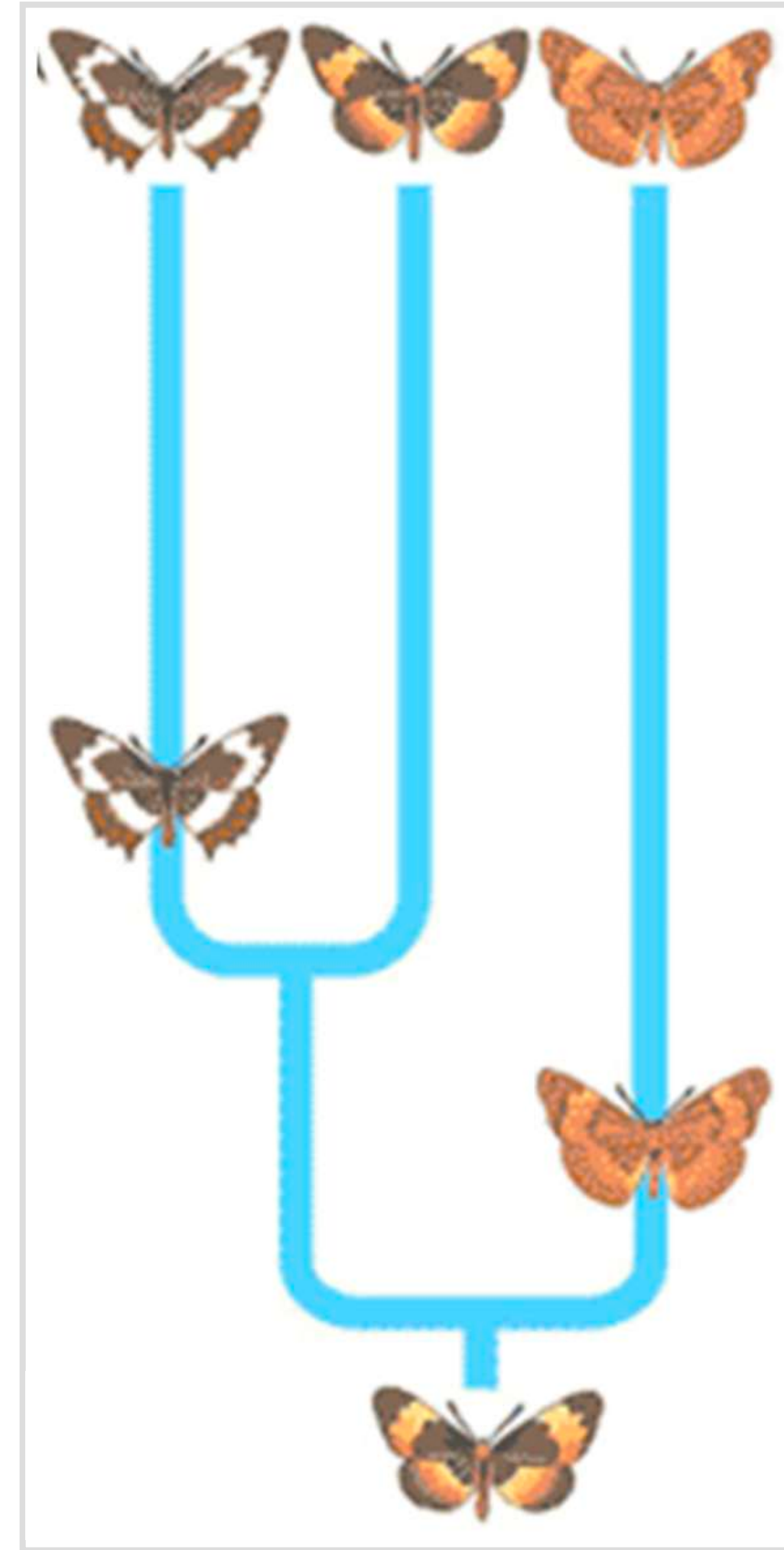
生物进化

生物的某一种群在一定历史时期内形成的遗传变异的积累和表型特征的改变。

狭义地定义为种群遗传组成的代代相传的变化

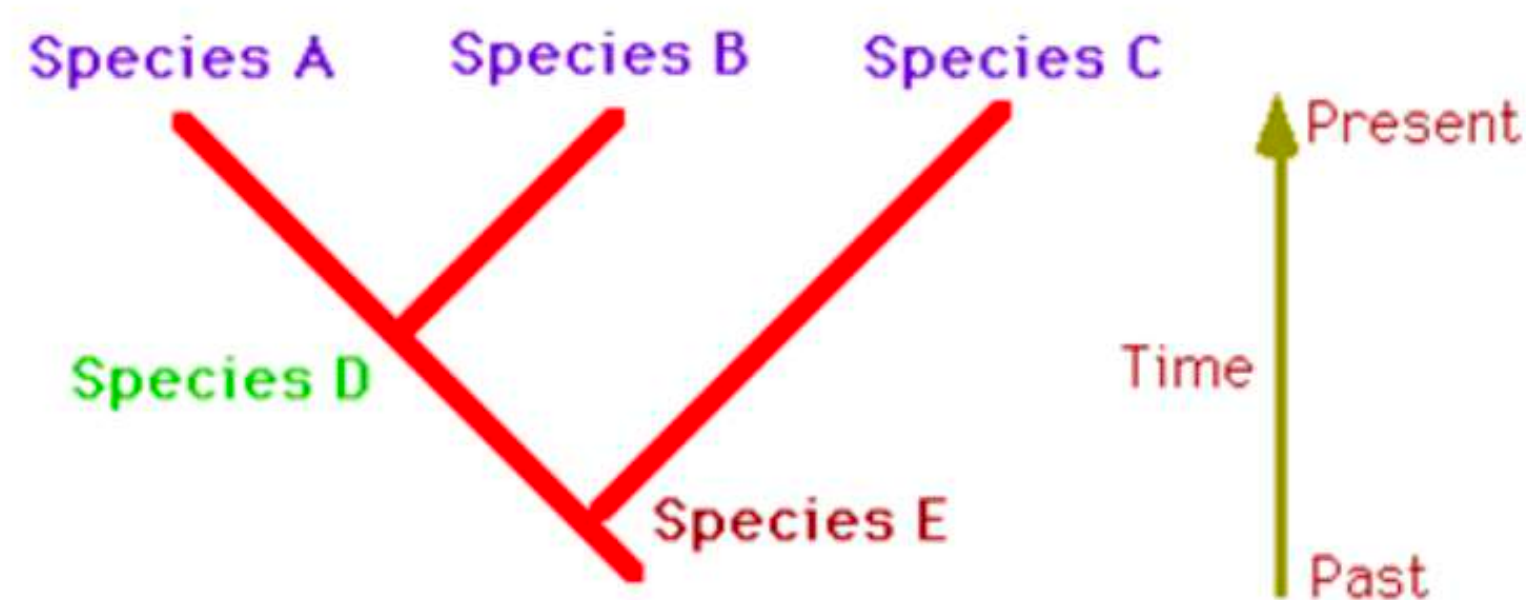
物种的演化潜力

- 共同祖先
 - 解答生物多样性的问题



后代渐变

Descent with modification

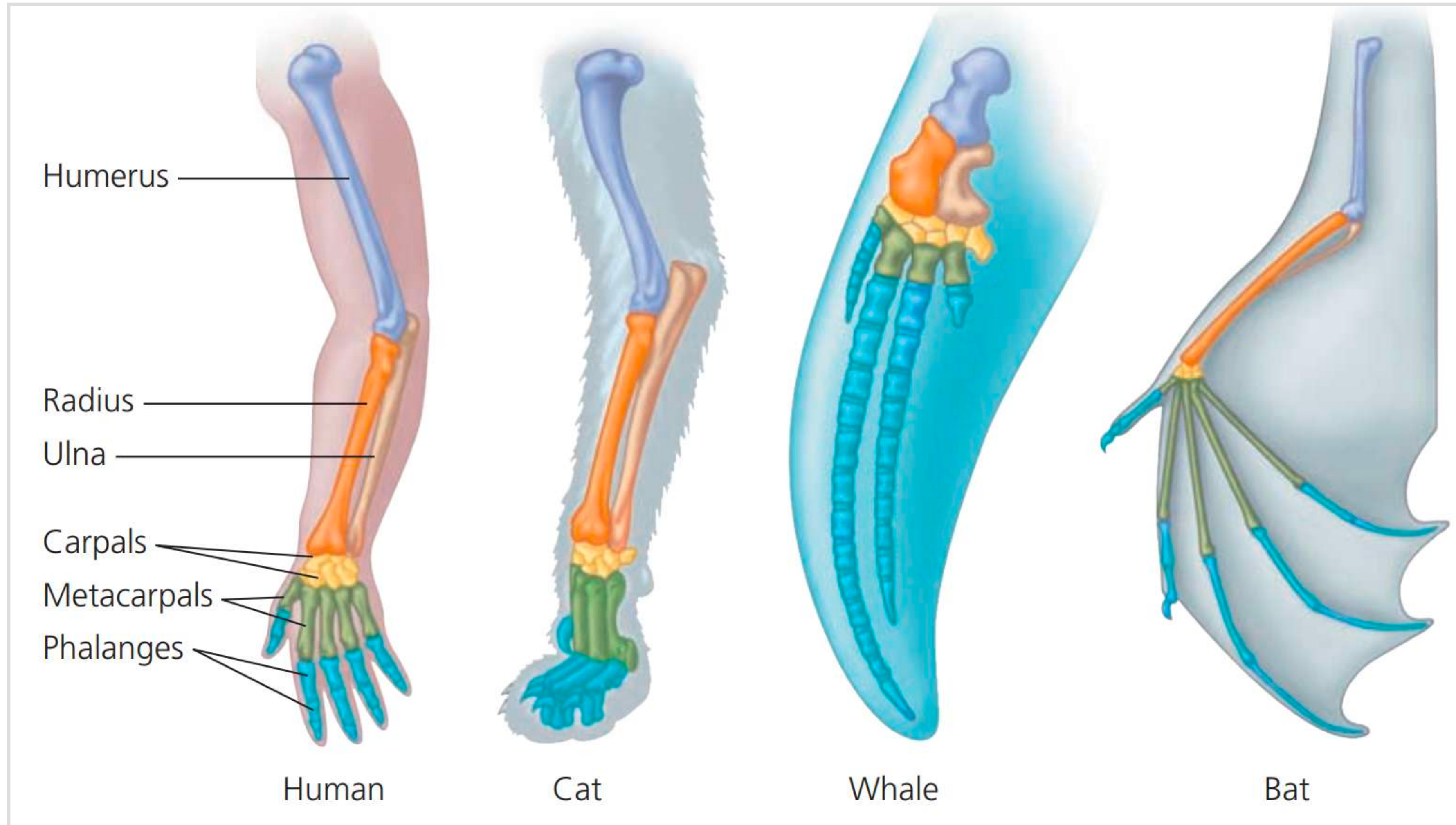


- 所有生物都是由一个共同祖先演化而来
- 所有生物都是通过自然选择机制渐变的结果

共同祖先的证据?

- 不同生物类型共用一套生物密码子
- 相似的生物大分子
- 不同物种之间同源结构
- 胚胎学上相似
- 遵循中心法则
-

例如 哺乳动物前肢： 同源结构



自然选择

- 达尔文的观察：所有的生物都面临为生存而斗争
 - 生存下来的都是适应环境最好的

自然选择机制渐变的证据？

共同祖先

遗传变异/遗传多样性

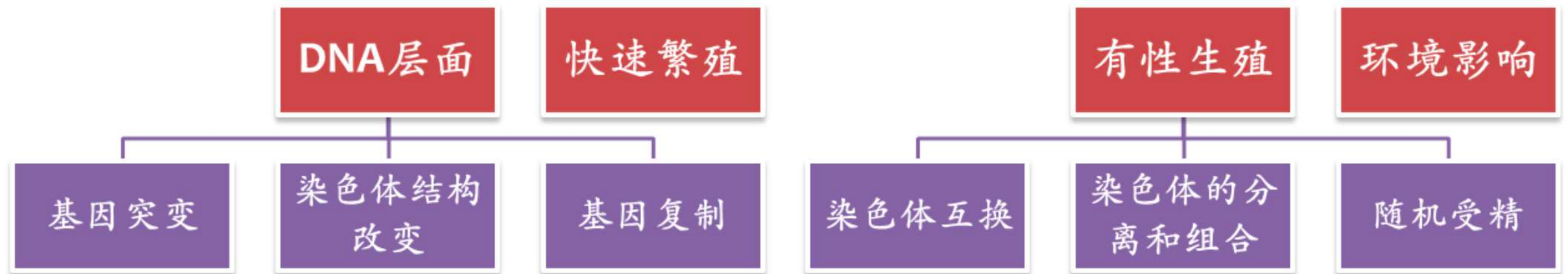
自然选择渐变机制据

遗传变异

- 遗传变异是生物学演化的基础

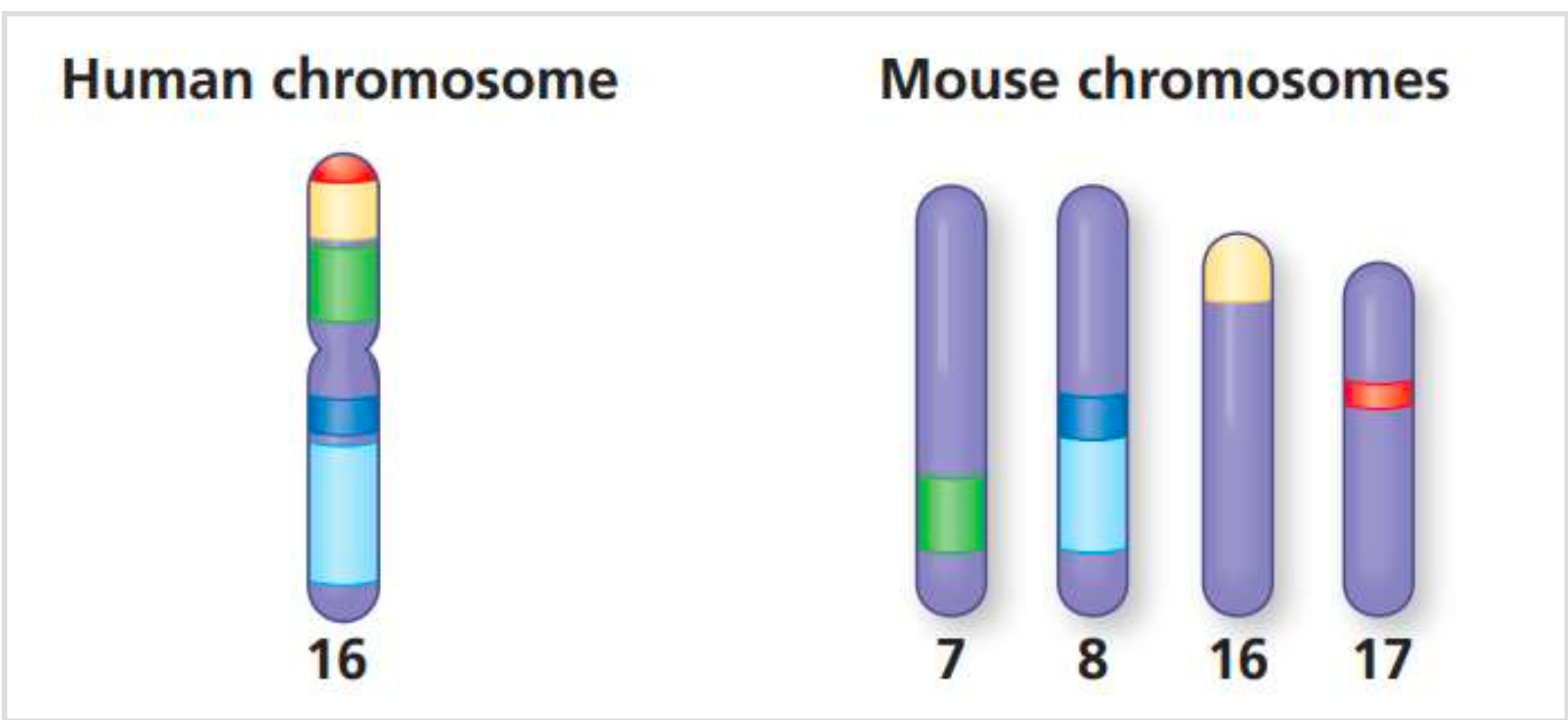
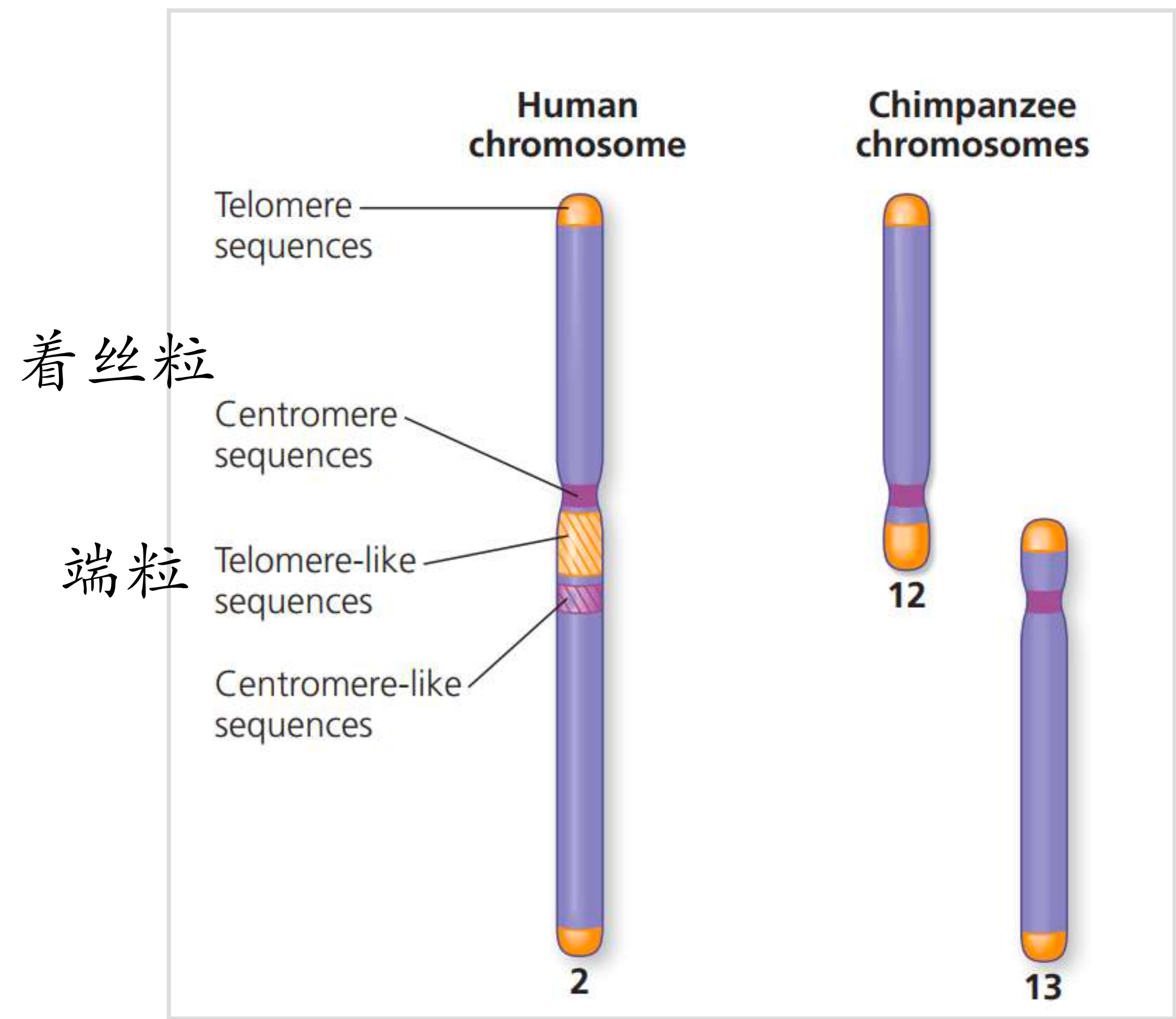


遗传变异的来源?



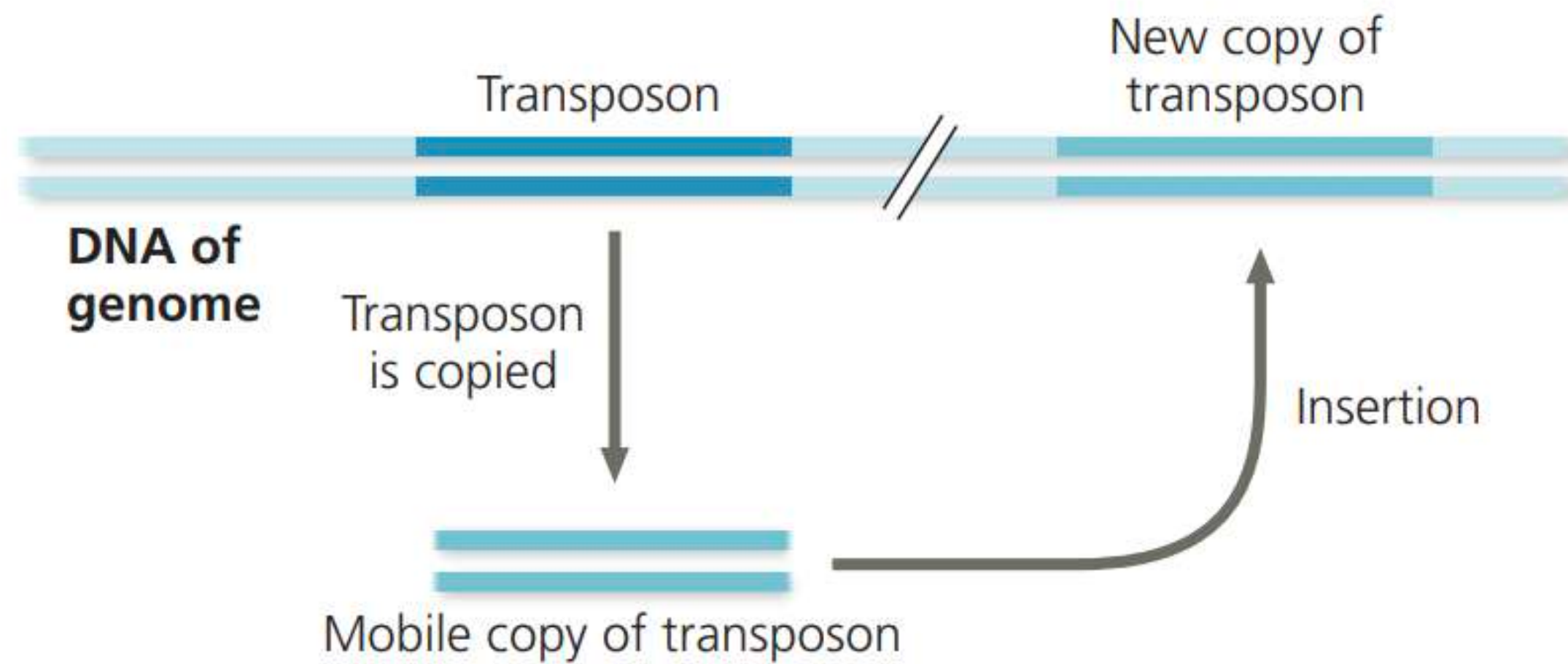
遗传变异的来源— 染色体结构的改变

- 人类($n=23$) vs. 黑猩猩($n=24$)
- 人类vs. 鼠



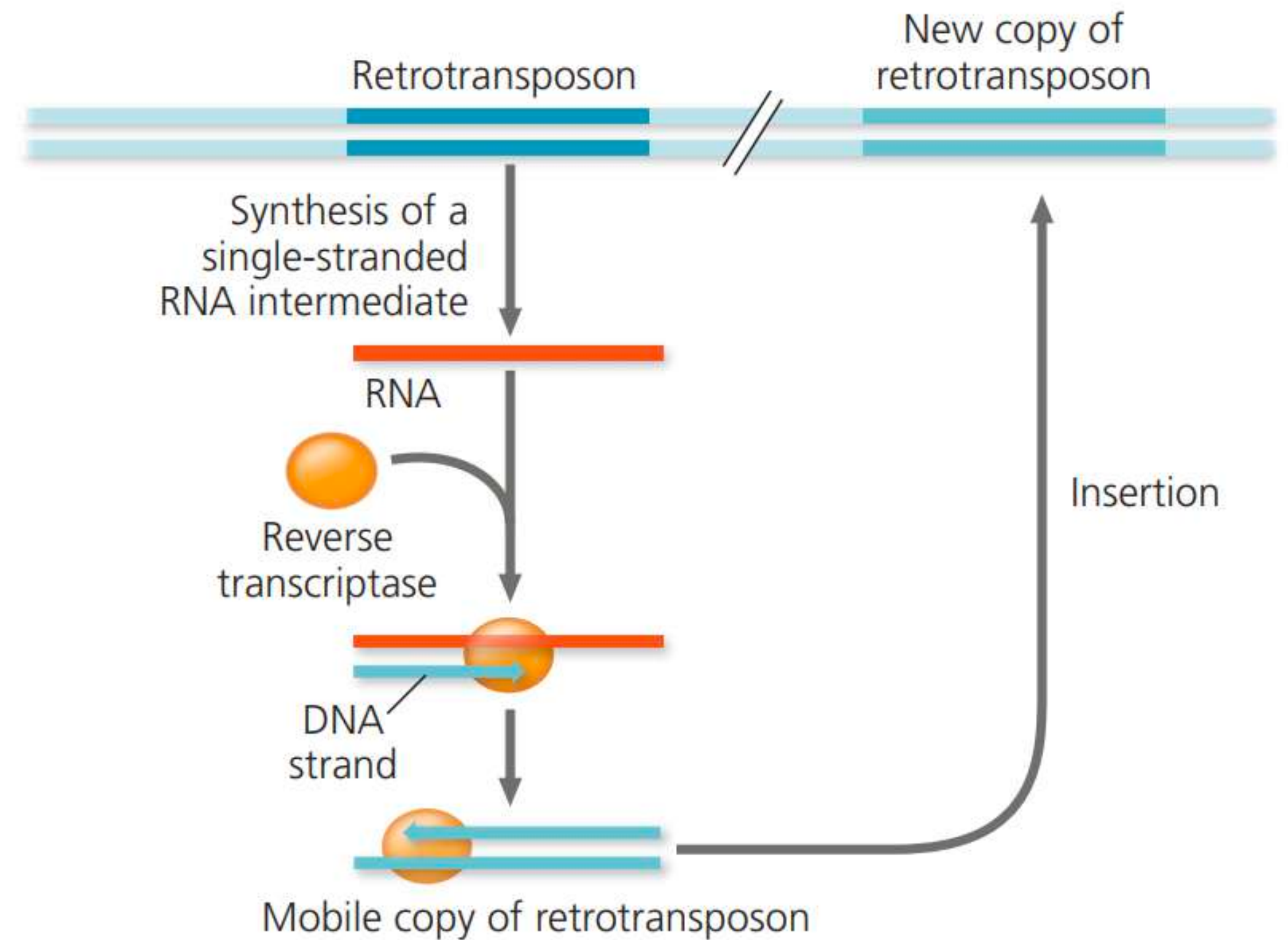
推断染色体进化与物种形成

遗传变异的来源—转座子/逆转座子



- Transposon movement

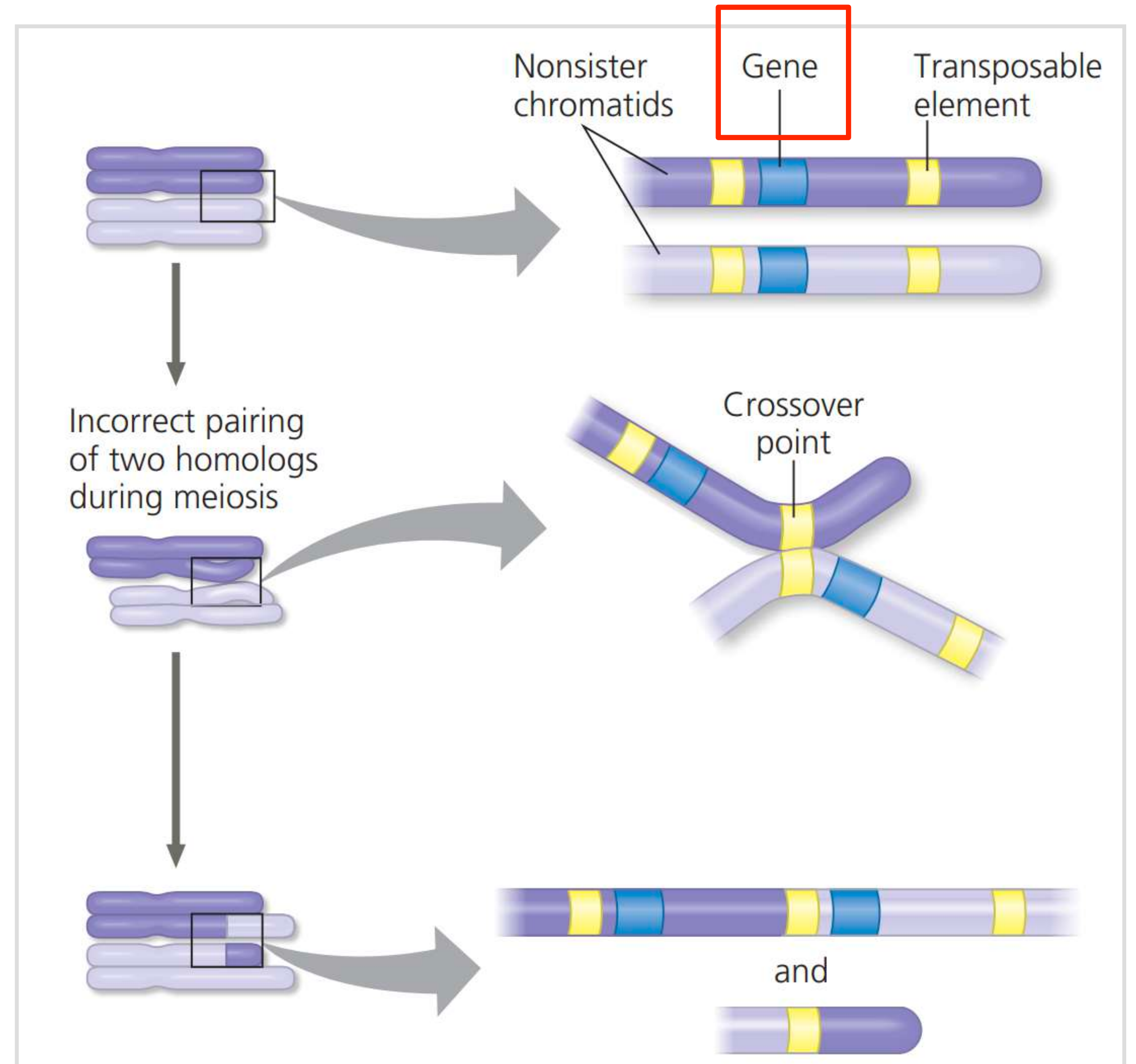
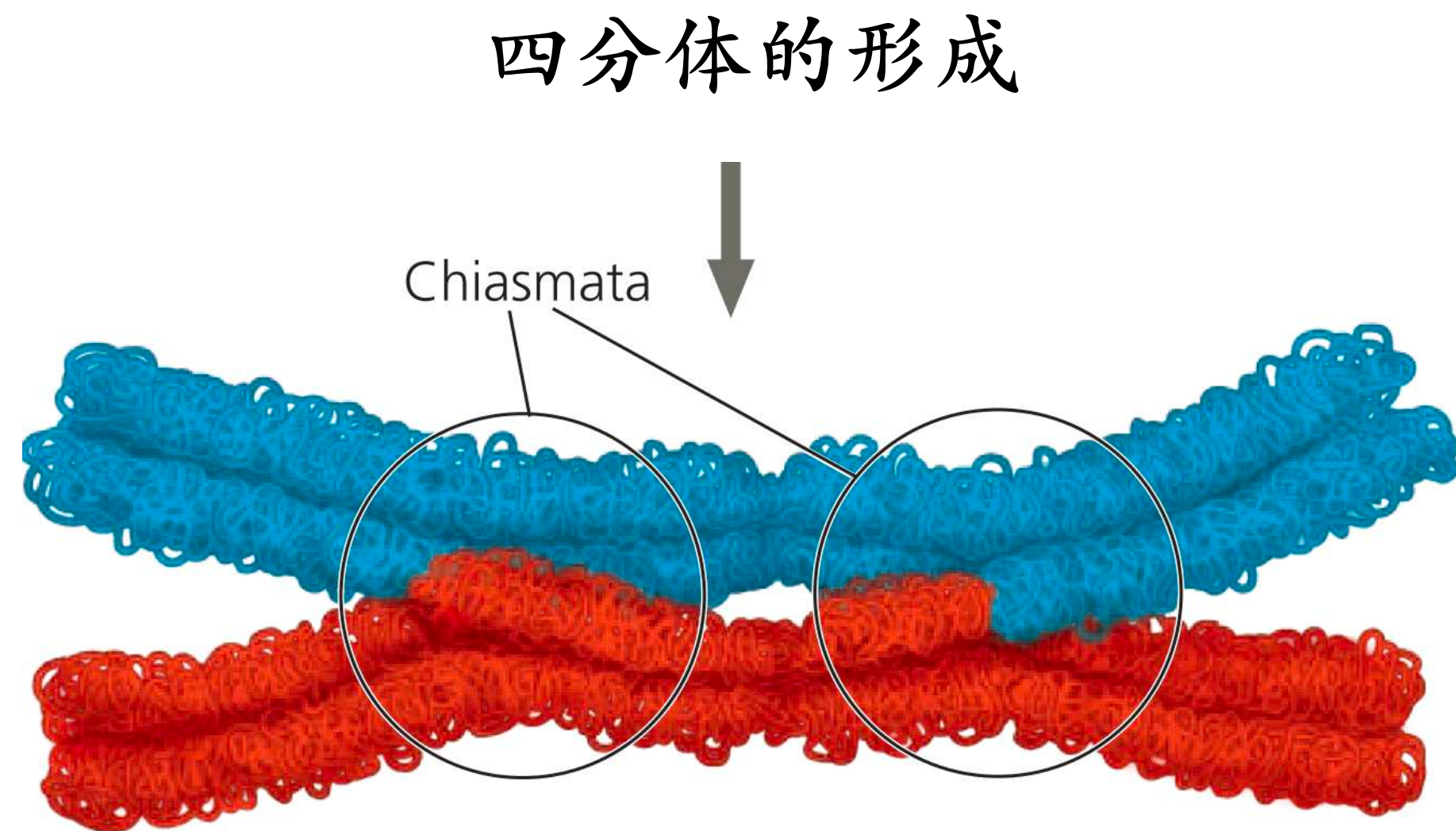
促进不同染色体之间重组



- Retrotransposon movement

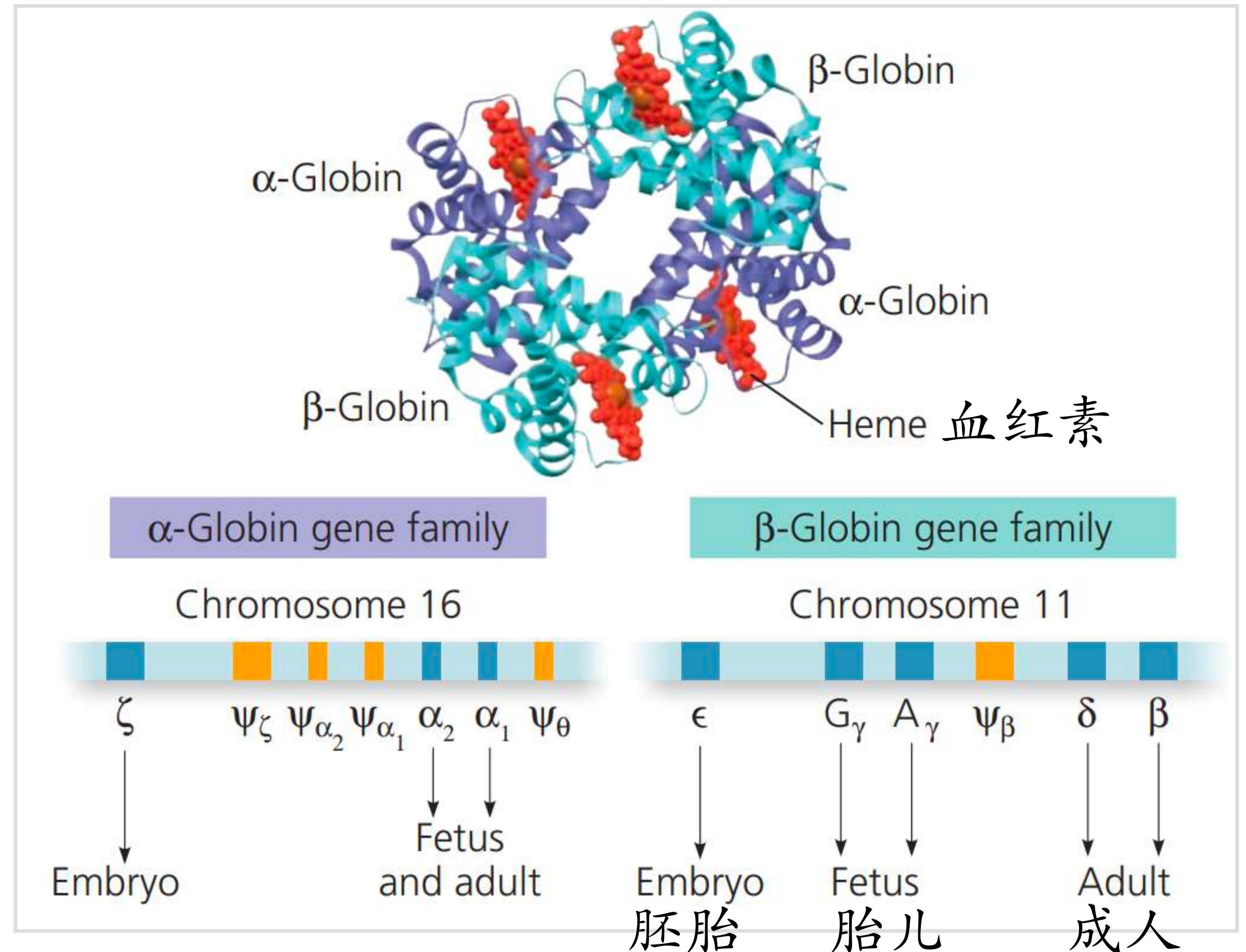
遗传变异的来源— 基因的重复(duplication)

- 减数分裂过程中的错误也可能导致染色体区域的重复

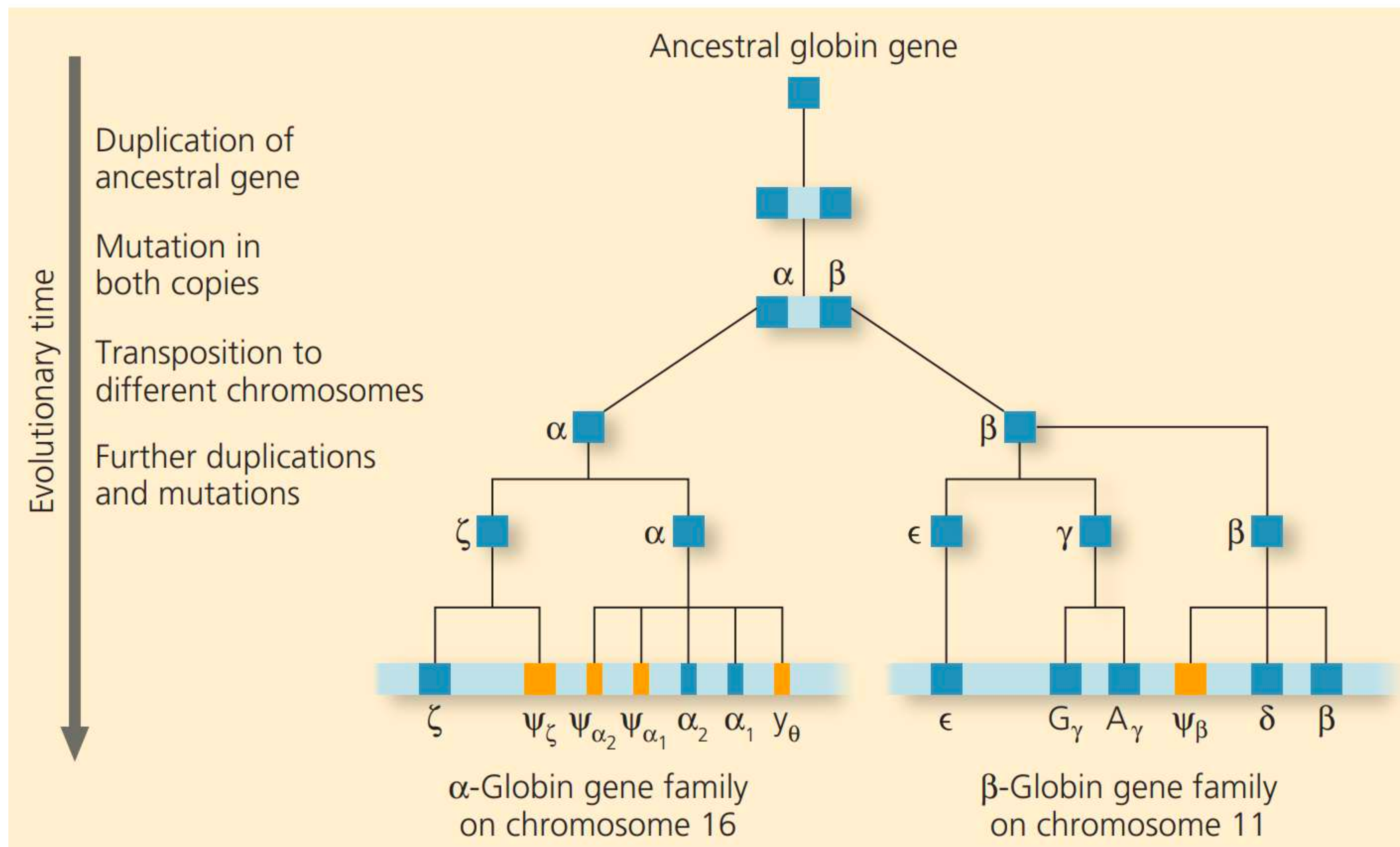


例子：基因复制后基因家族的产生

- 血红蛋白，异源四聚体，包括血红蛋白的 α 和 β 多肽亚基。每个血红蛋白亚基的不同形式在发育的不同时间表达



例子：基因复制后基因家族的产生



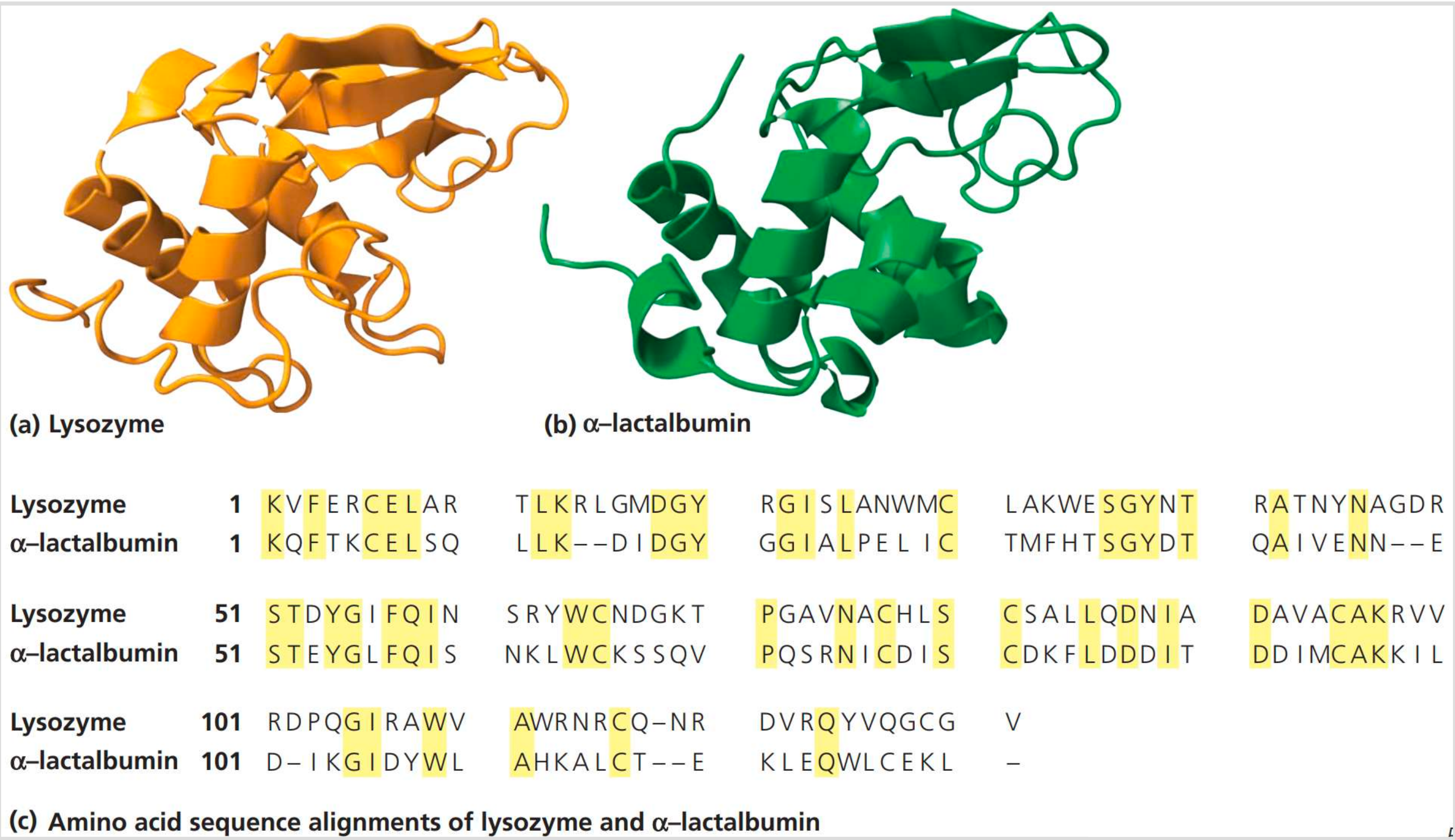
遗传变异的来源— 基因的重复(duplication)

推断不同功能蛋白的进化关系

- 溶菌酶 vs. α -乳清蛋白

哺乳动物：溶菌酶和乳清蛋白

鸟类：只含溶菌酶

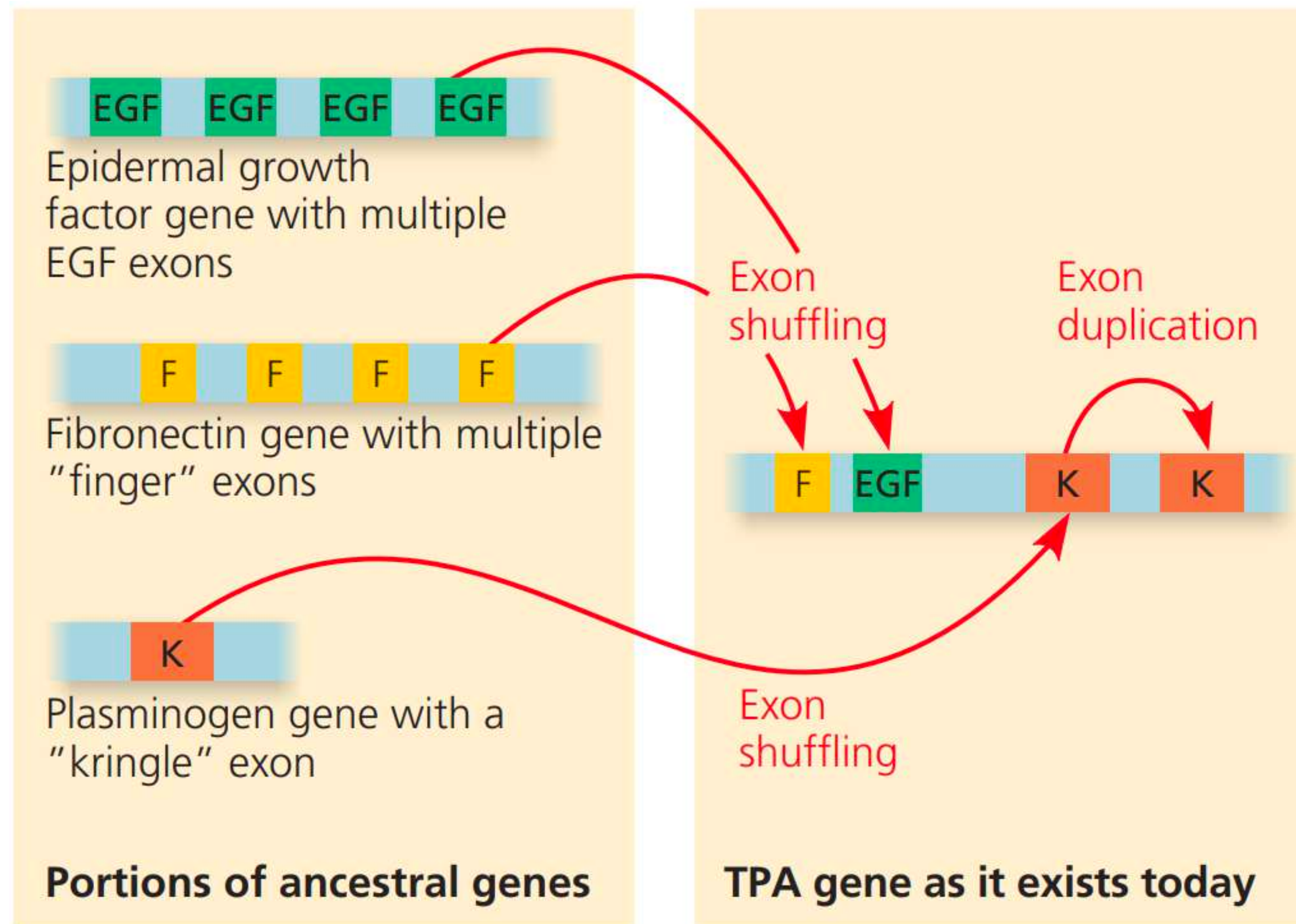


遗传变异的来源— 基因重排 (Rearrangement)

新基因诞生

- 例子：组织纤溶酶原激活剂 (TPA)

每种类型的外显子也存在于其他蛋白质中



遗传变异的来源— 环境的影响

- 表观遗传——DNA甲基化的方式不同导致物种间蛋白质不同



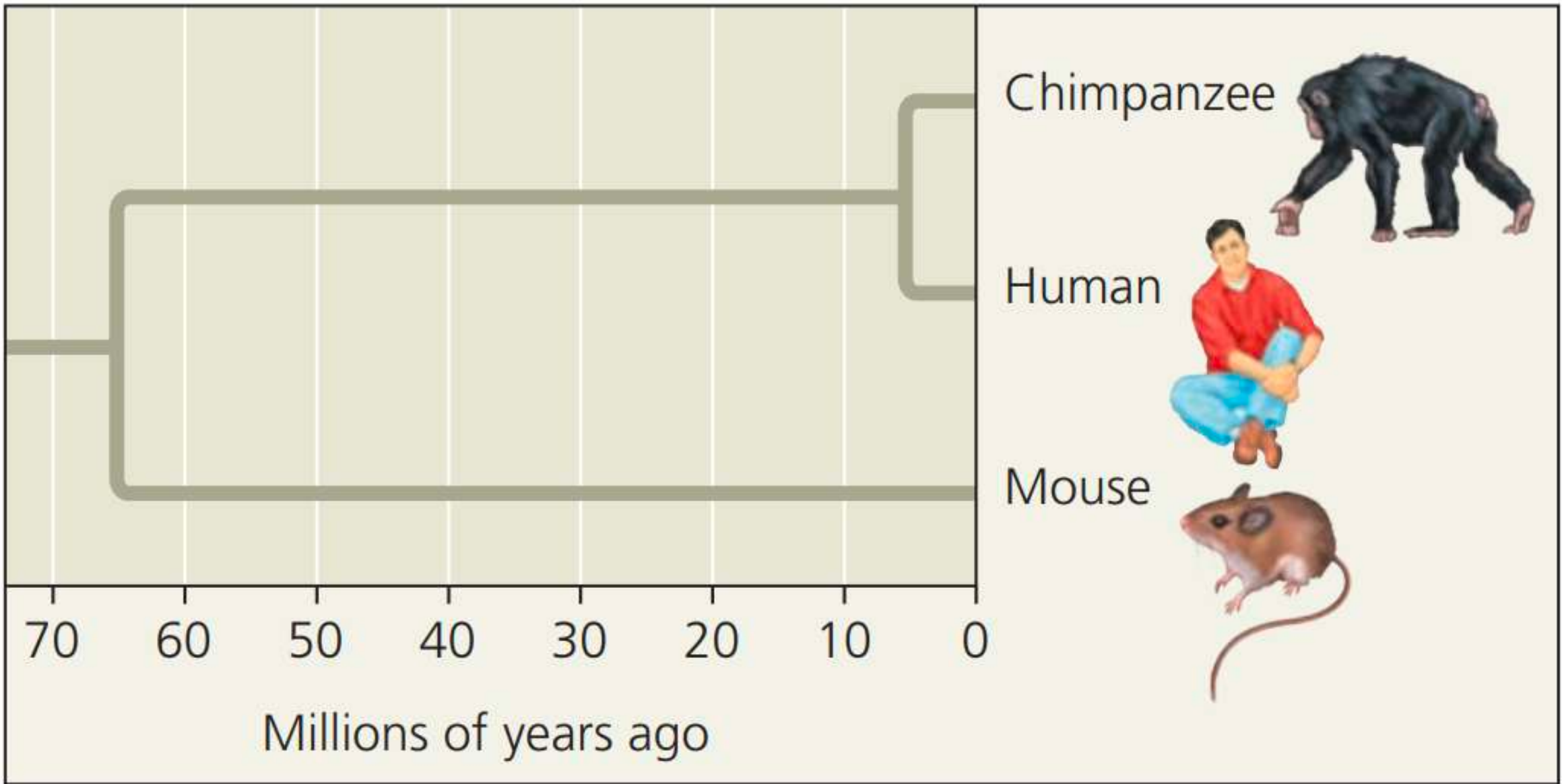
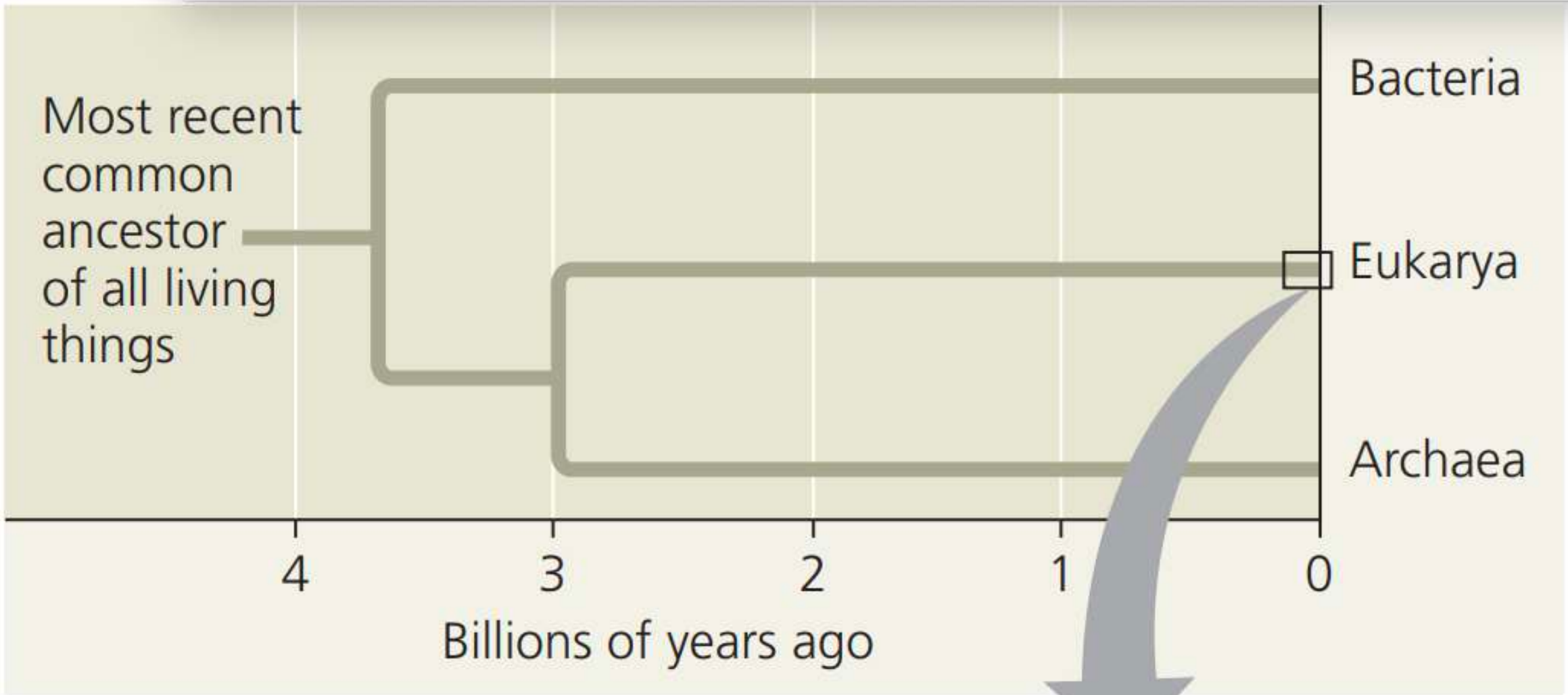
遗传变异的来源?



遗传多样性为自然选择提供了宝贵的原材料

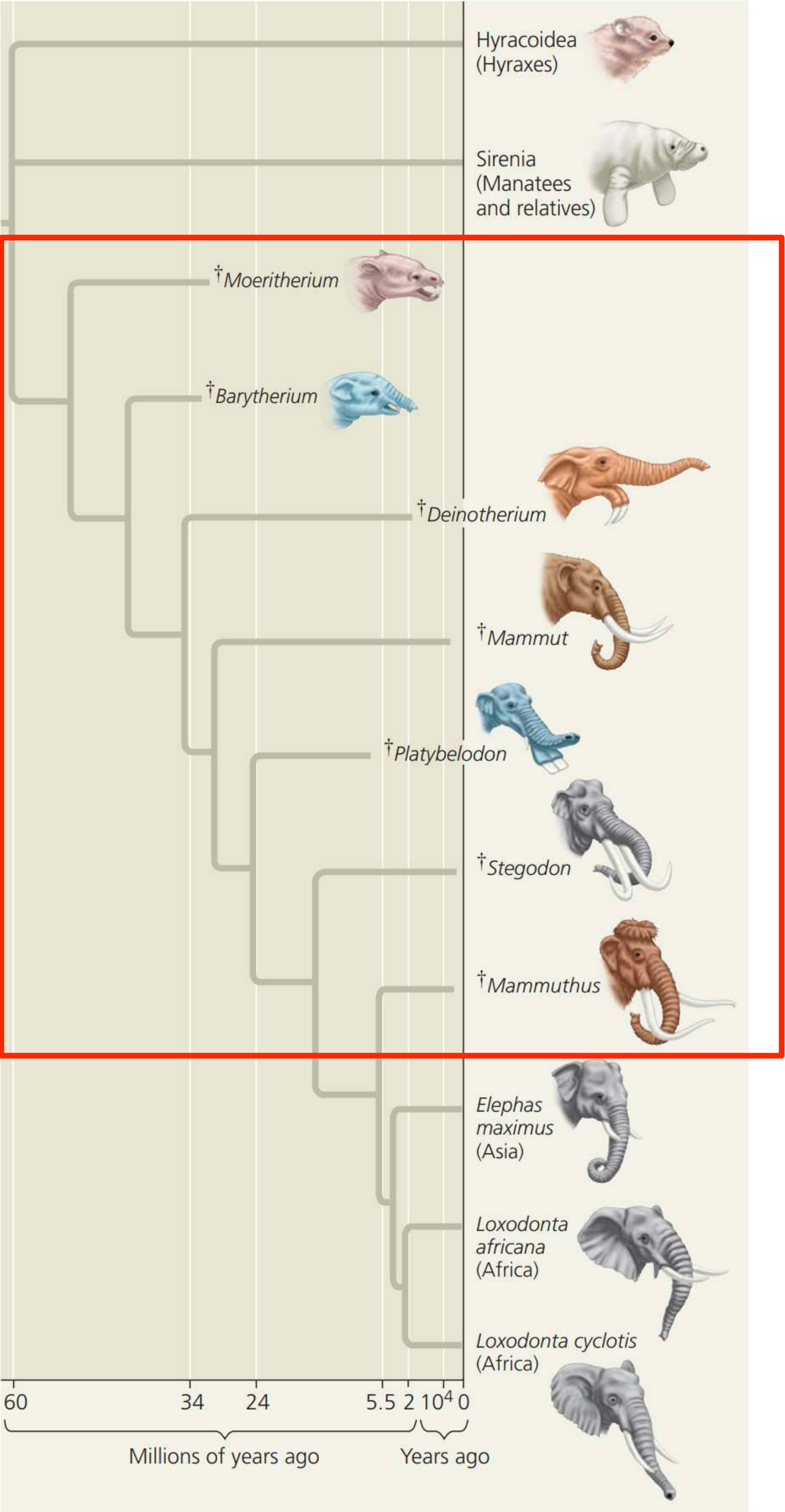
比较基因组可以找到物种间的亲缘关系

进化树



两个物种的基因和基因组在序列上越相似，这些物种在其进化史上的亲缘关系就越密切。——揭示进化事件

例子



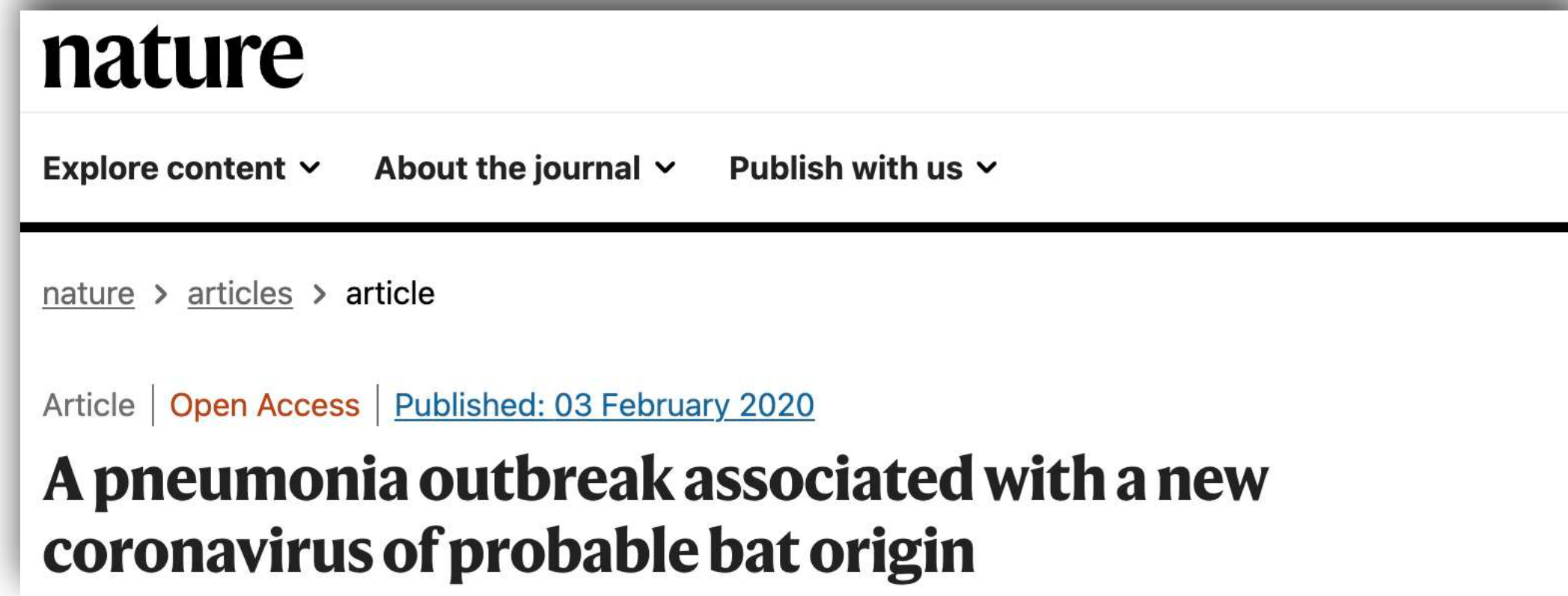
近亲蹄和海牛

已灭绝

三种现存的大象：亚洲象（*Elephas maximus*）
和两种非洲象（*Loxodonta africana*和 *L. cyclotis*）

利用基因组工具判别生物来源的例子

2020.2.3 Nature中科院武汉病毒所 石正丽团队



2020.2.3 Nature复旦大学 张永振团队



Five patients → Full-length genome → 79.6% sequence identity to SARS-CoV

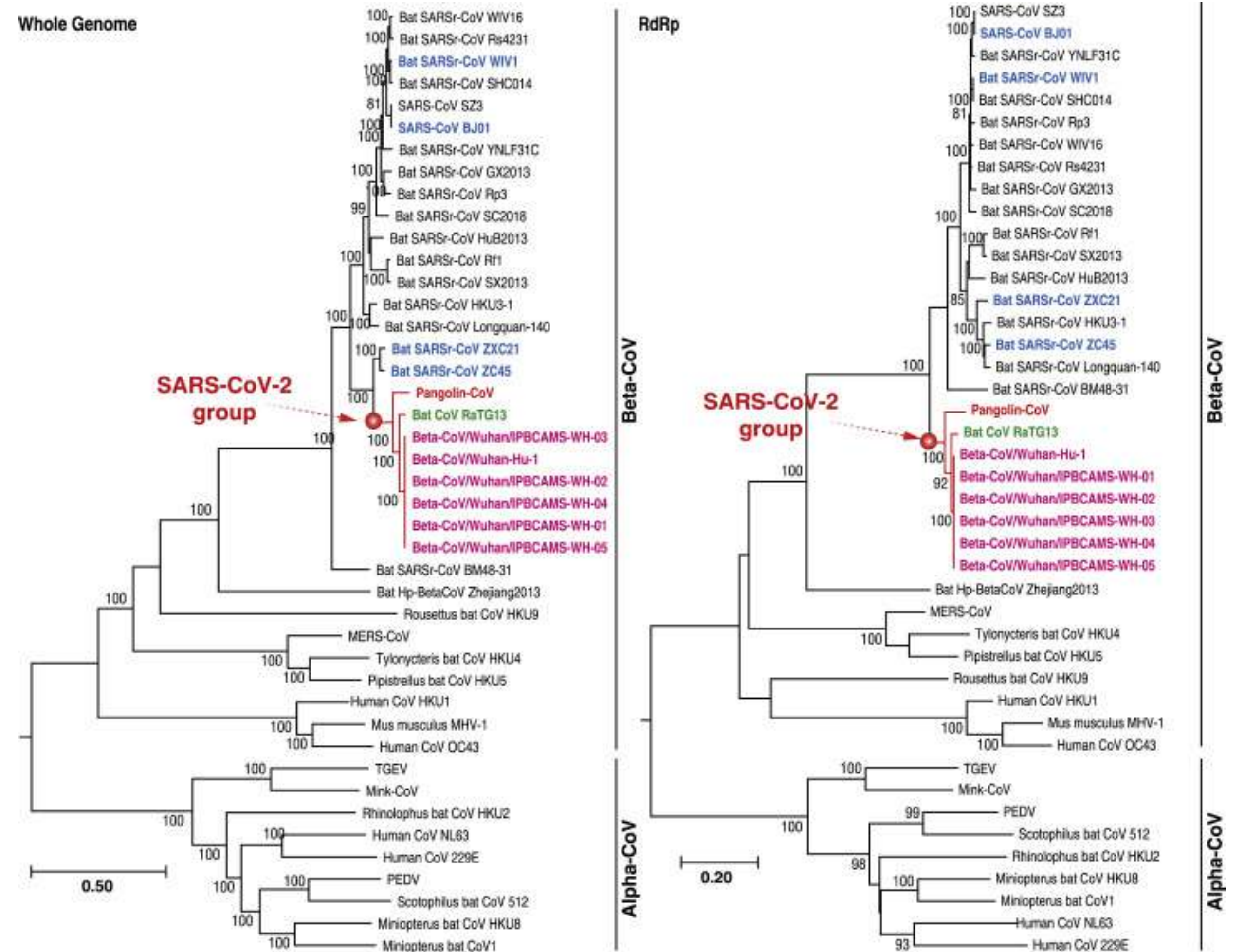
> Curr Biol. 2020 Apr 6;30(7):1346-1351.e2. doi: 10.1016/j.cub.2020.03.022. Epub 2020 Mar 19.

穿山甲 Probable Pangolin Origin of SARS-CoV-2 Associated With the COVID-19 Outbreak

Tao Zhang¹, Qunfu Wu¹, Zhigang Zhang²

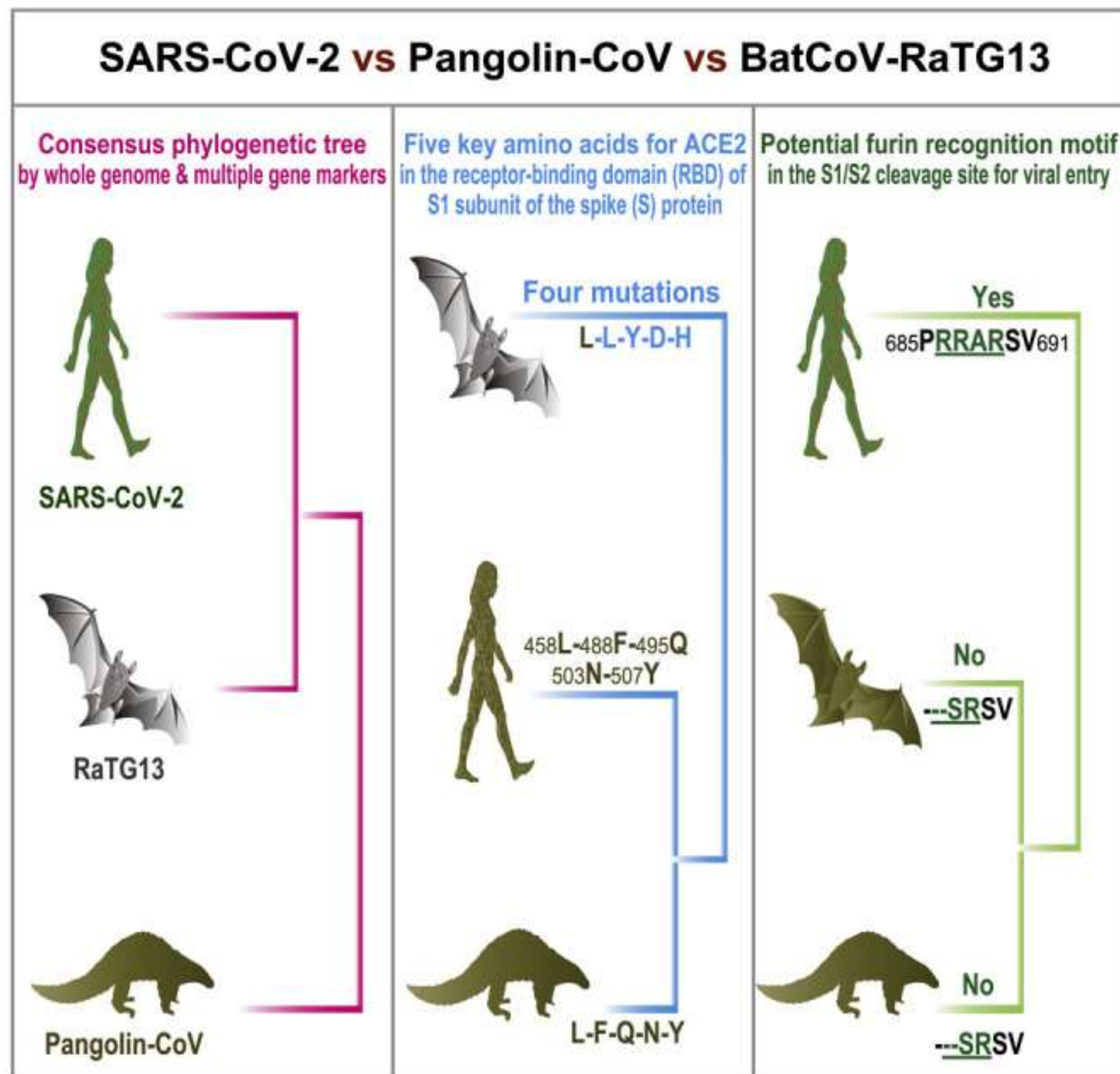
新冠病毒与蝙蝠，穿山甲

进化树



分别分析

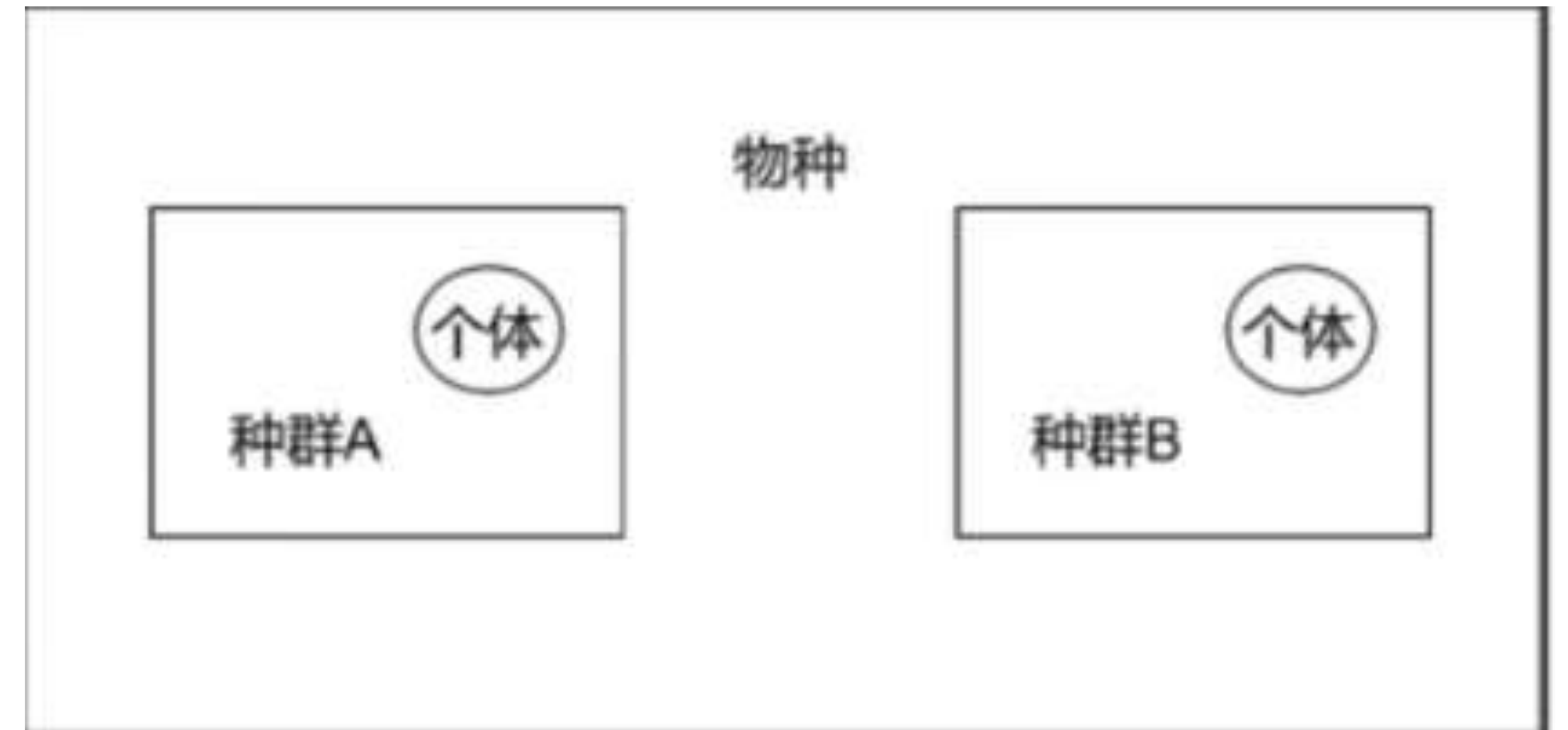
- 整个基因组
- 与宿主受体结合的关键氨基酸
- 与病毒刺突蛋白切割相关识别位点



种群的演化

种群和物种

- 种群：
 - 在一定空间范围内同时生活着的同个物种的全部个体
 - 能够而且确实进行交配的群体
- 物种
 - 能相互交配并产生可繁殖后代的自然种群的总称
 - 同一物种内没有生殖隔离



不同物种间都可能有哪些因素导致无法交配成功或无法产生有繁殖能力的后代？



The Hardy-Weinberg Equation("哈迪-温伯格定律")

- 判断一个种群是否发生演化?
- 从遗传学角度解释



演化定义: 种群内遗传性状在世代间的变化 / 种群内等位基因比例在世代间的变化

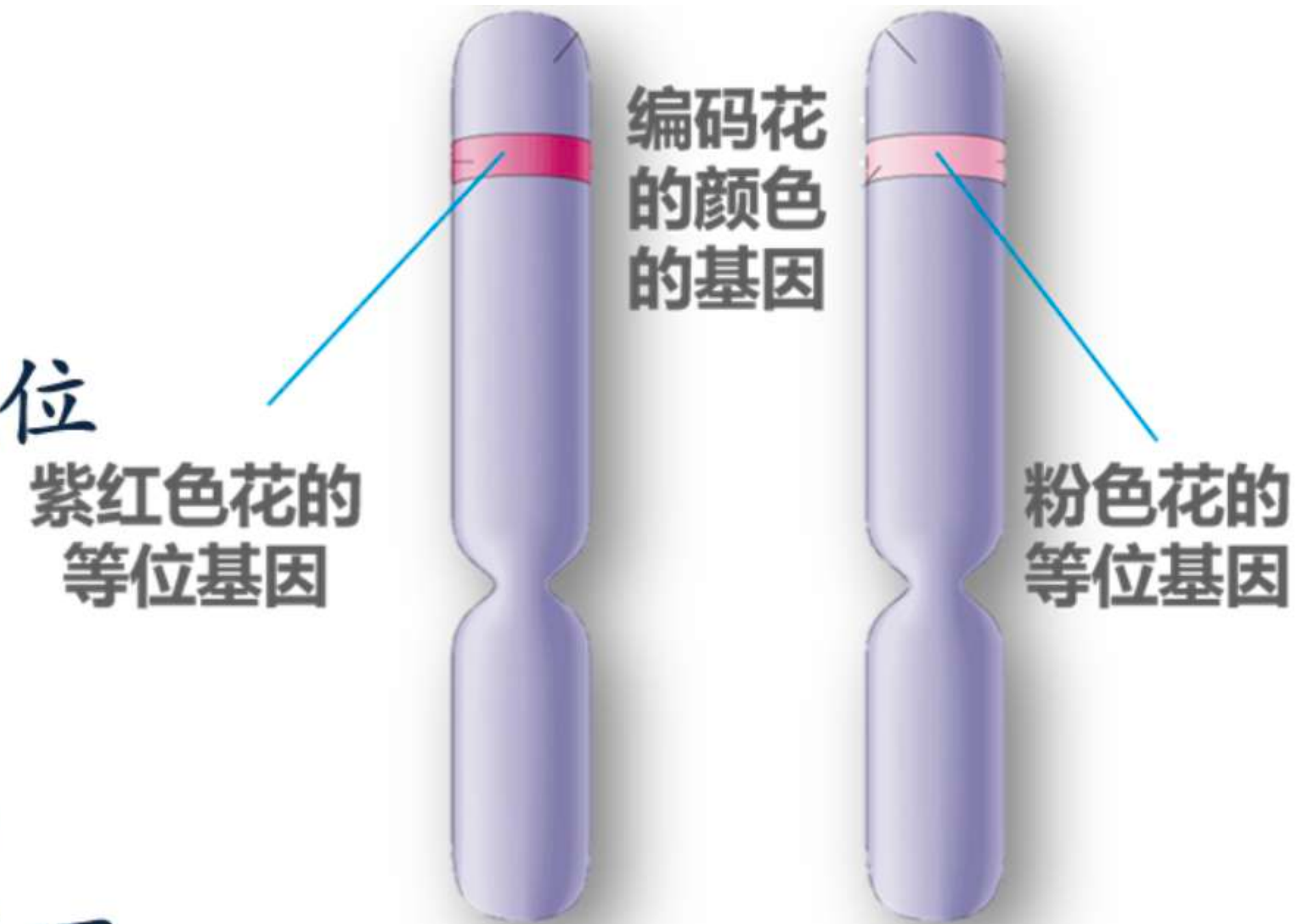
几个重要的概念

- 基因座
- 基因库
- 等位基因频率

基因座

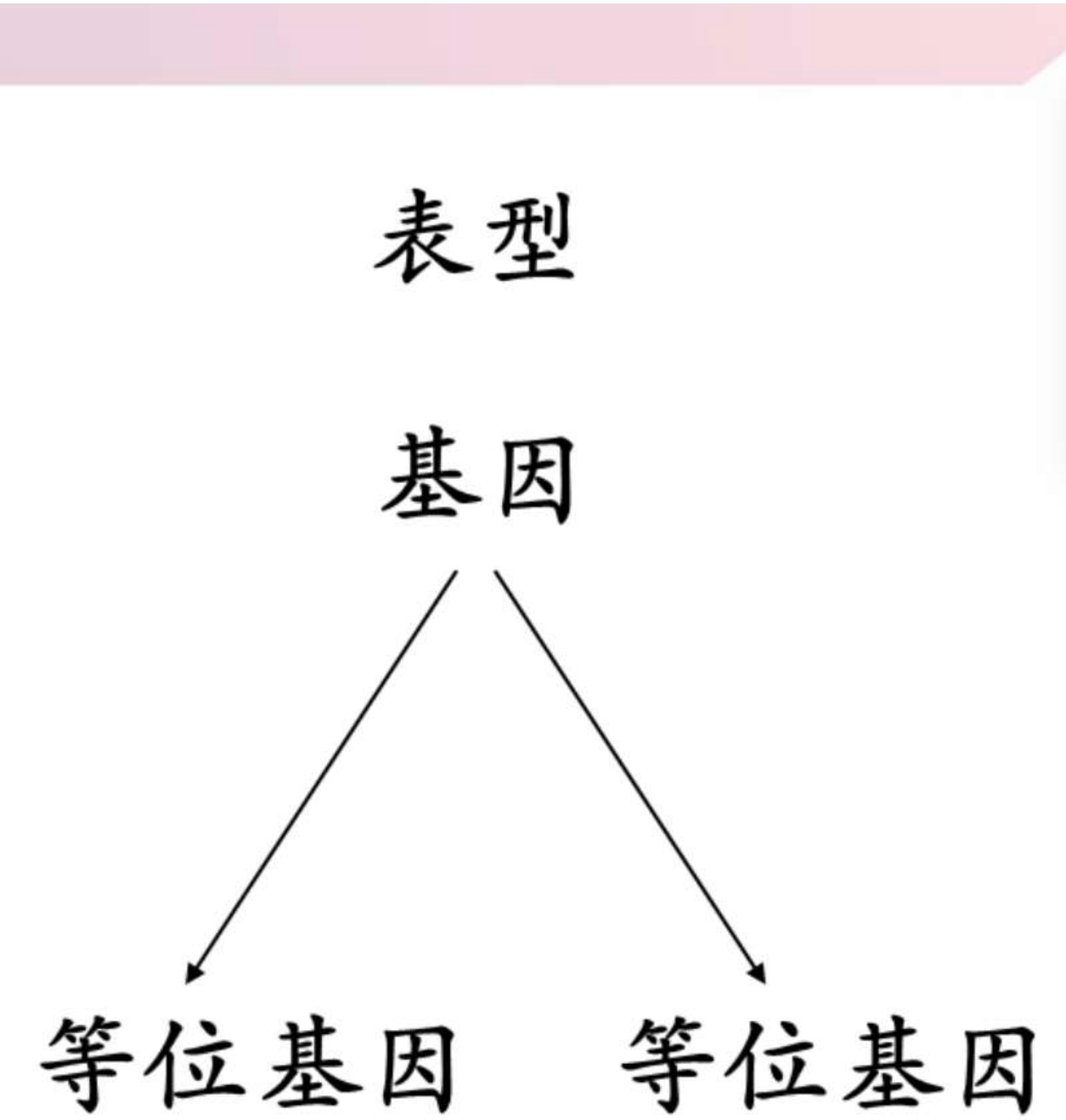
基因座 (Genetic Locus)

- 是指染色体上的固定位置
- 某个基因的所在
- 同一物种基因座上的DNA序列可能有许多不同的变化



基因库

- 基因库由群体中所有个体在特定基因座上的所有等位基因的总和



 <i>BBEE</i>	 <i>BbEE</i>	 <i>BBEe</i>	 <i>BbEe</i>
 <i>BbEE</i>	 <i>bbEE</i>	 <i>BbEe</i>	 <i>bbEe</i>
 <i>BBEe</i>	 <i>BbEe</i>	 <i>BBee</i>	 <i>Bbee</i>
 <i>BbEe</i>	 <i>bbEe</i>	 <i>Bbee</i>	 <i>bbee</i>

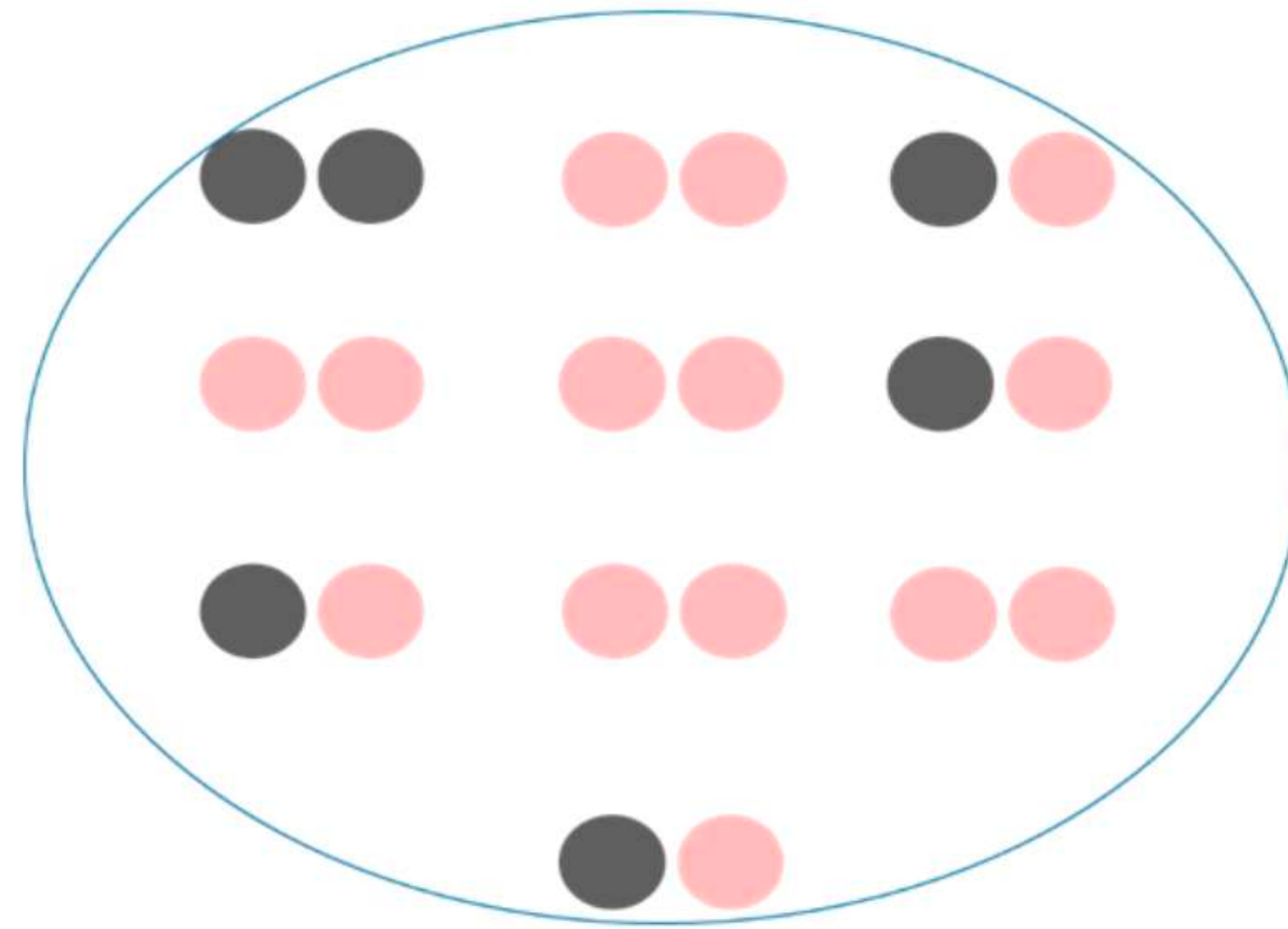
等位基因频率

- 一个种群中某种等位基因的数量在基因库中的比例

$p = \text{黑色等位基因频率} = 6/20 = 0.3 = 30\%$

$q = \text{白色等位基因频率} = 14/20 = 0.7 = 70\%$

$$p + q = 1$$



The Hardy-Weinberg Equation("哈迪-温伯格定律")

- 孟德尔遗传学：一次杂交的后代基因型 $\longrightarrow$ 种群

	D	d
D	DD	Dd
d	Dd	dd



种群， 套用孟德尔定律

p=D等位基因频率=30% q=d等位基因频率=70%		雌性	
		D (p)	d (q)
雄性	D (p)	DD (p ²)	Dd (pq)
	d (q)	Dd (qp)	dd (q ²)

基因型的频率（比例）

DD	p ² =0.3x0.3=0.09
dd	q ² =0.7x0.7=0.49
Dd	2pq=2x0.3x0.7=0.42

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

The Hardy-Weinberg Equation("哈迪-温伯格等式")

- 如果一个种群处于这个等式中，而且这个种群中的成员一直是随机交配，那么等位基因频率和基因型频率将保持不变。—— 哈迪-温伯格平衡

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

"哈迪-温伯格定律"的应用

- 医学上：估算在一个种群中携带致病等位基因的机率
- 举例：PKU是隐性遗传病，每10000个出生婴儿中有1个婴儿会患病。求种群中杂合体基因型频率。

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

The Hardy-Weinberg Equation("哈迪-温伯格等式")

- 哈迪-温伯格定理描述了一个没有进化的假设种群
- 在实际人群中，等位基因和基因型频率确实会随时间而变化
- 发生改变的条件：

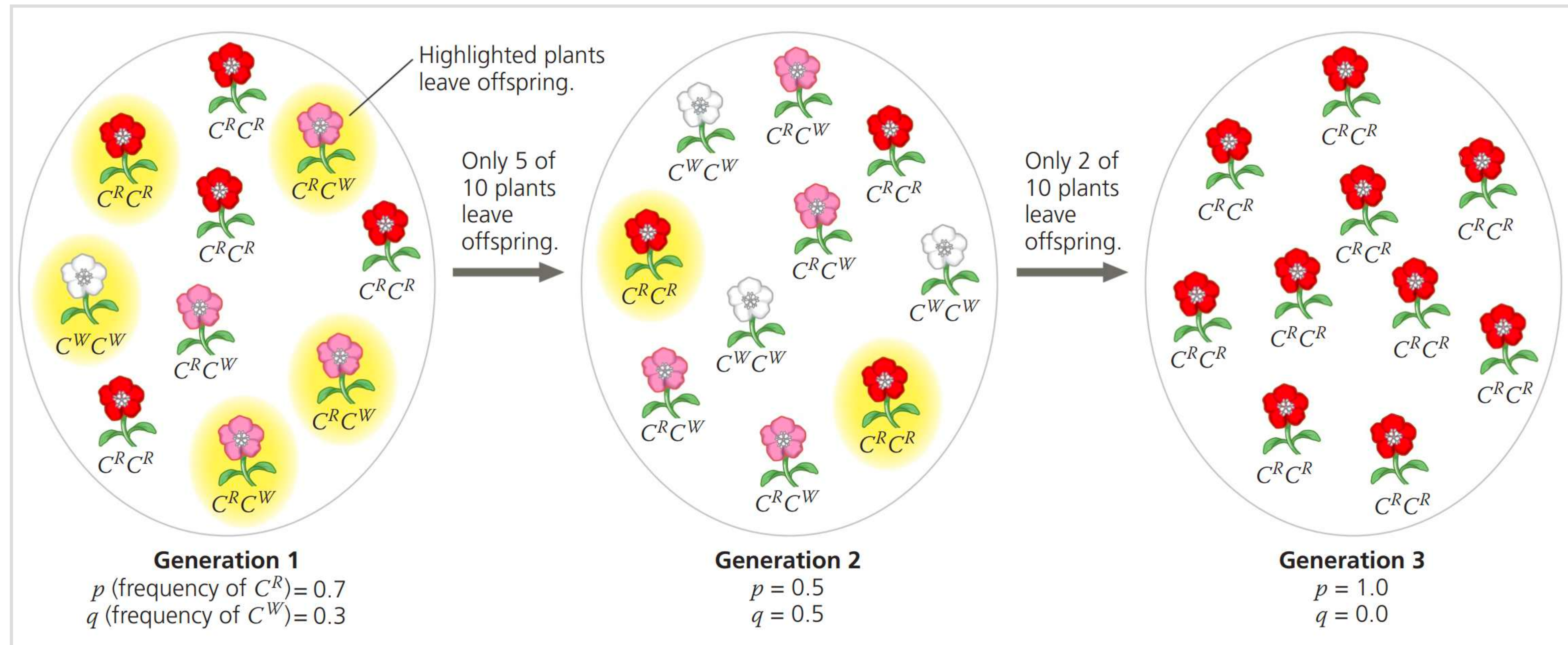
突变
不随机交配
自然选择
种群小
基因流动

种群演化的机制

- 遗传漂移
- 基因流动
- 自然选择

基因漂移 (Genetic drift)

- 偶然事件会导致等位基因频率在一代到下一代之间发生不可预测的波动，尤其是在小群体中，这一过程被称为遗传漂移。



基因漂移 (Genetic drift)

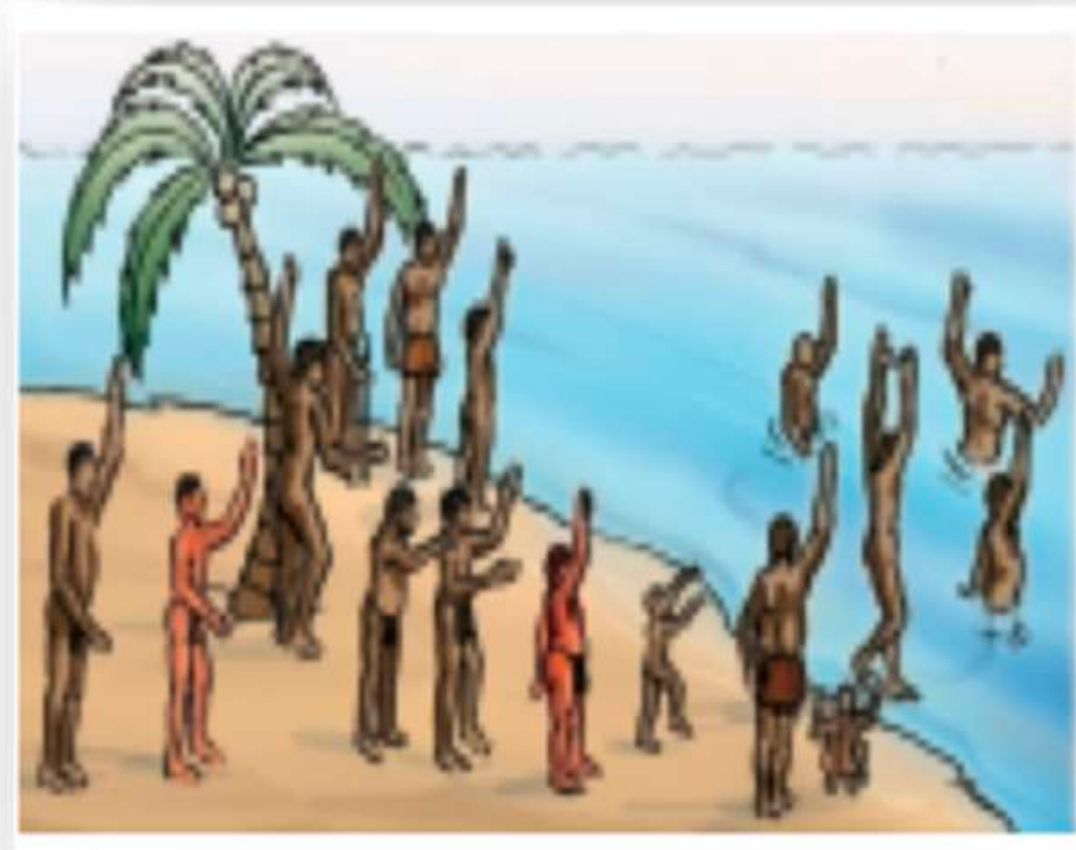
发生以下3种形式:

- 奠基者效应
- 种群瓶颈效应
- 小种群的几率效应



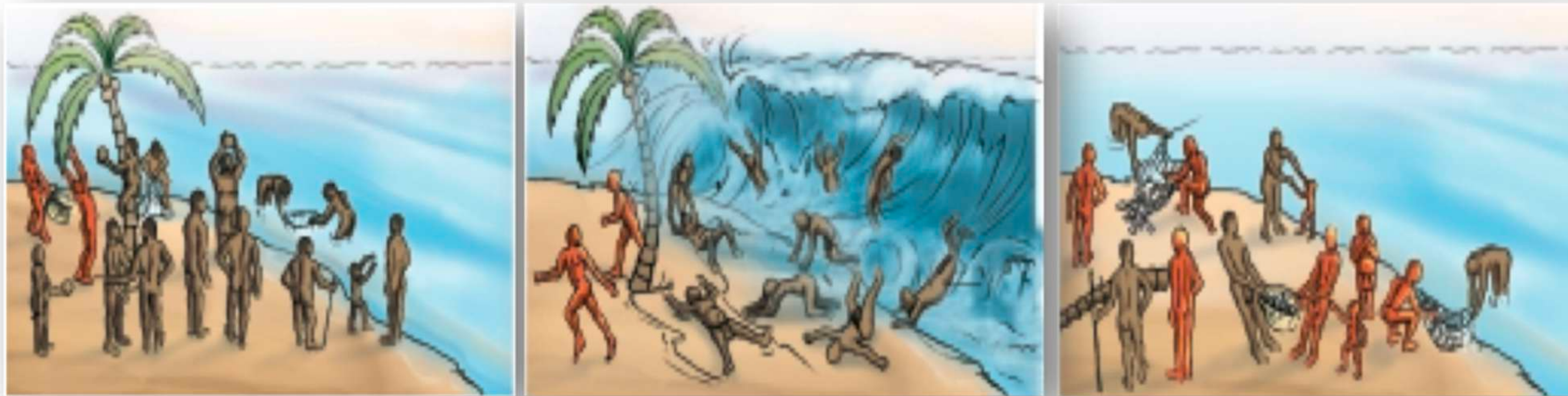
基因漂移—奠基者效应 (Founder Effect)

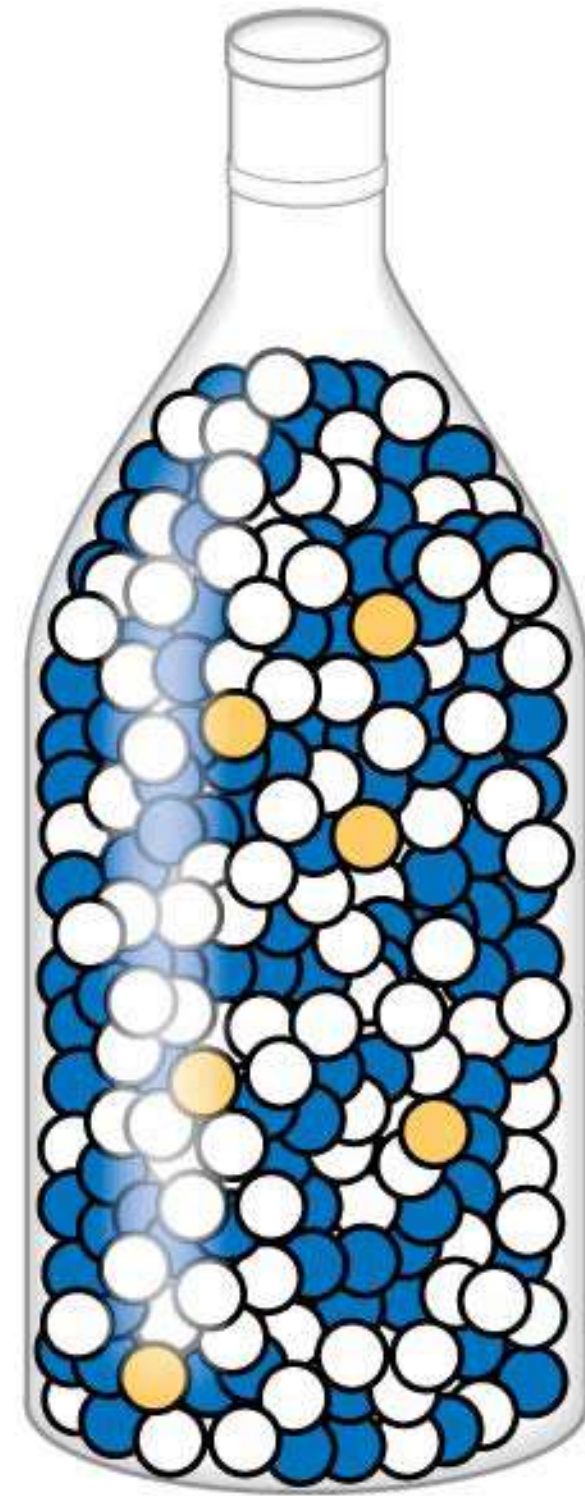
- 指由带有亲代群体中部分等位基因的少数个体重新建立新的群体
- 举例：帮助解释相对封闭种群中遗传疾病的高发



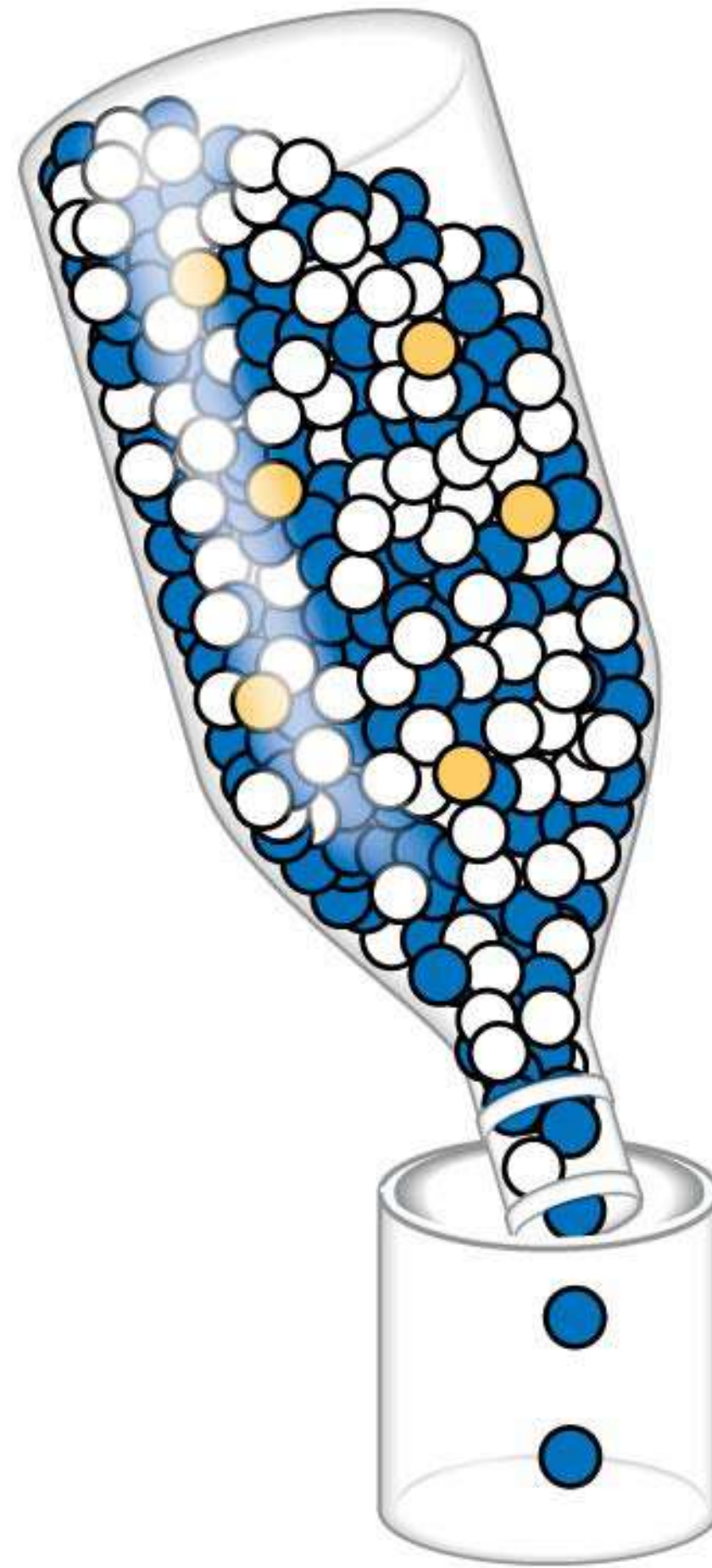
基因漂移—种群瓶颈效应 (Bottleneck Effect)

- 由于自然环境的因素，种群内的生物急剧减少，原来在种群内占少数的基因逐渐成为主体

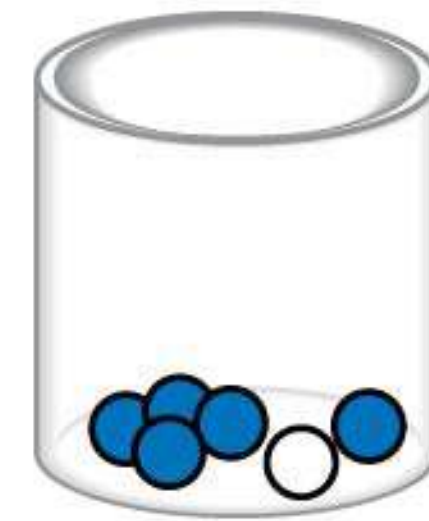




**Original
population**



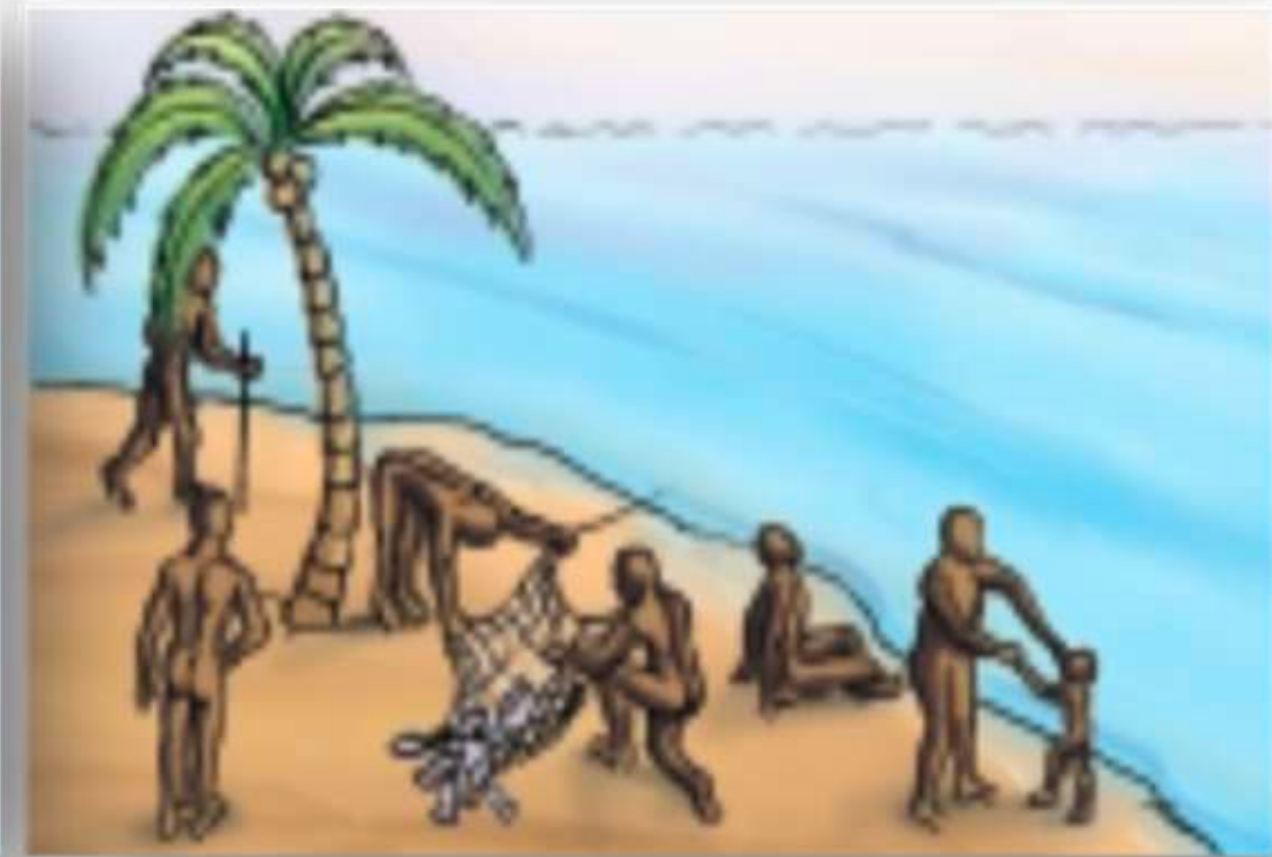
**Bottlenecking
event**



**Surviving
population**

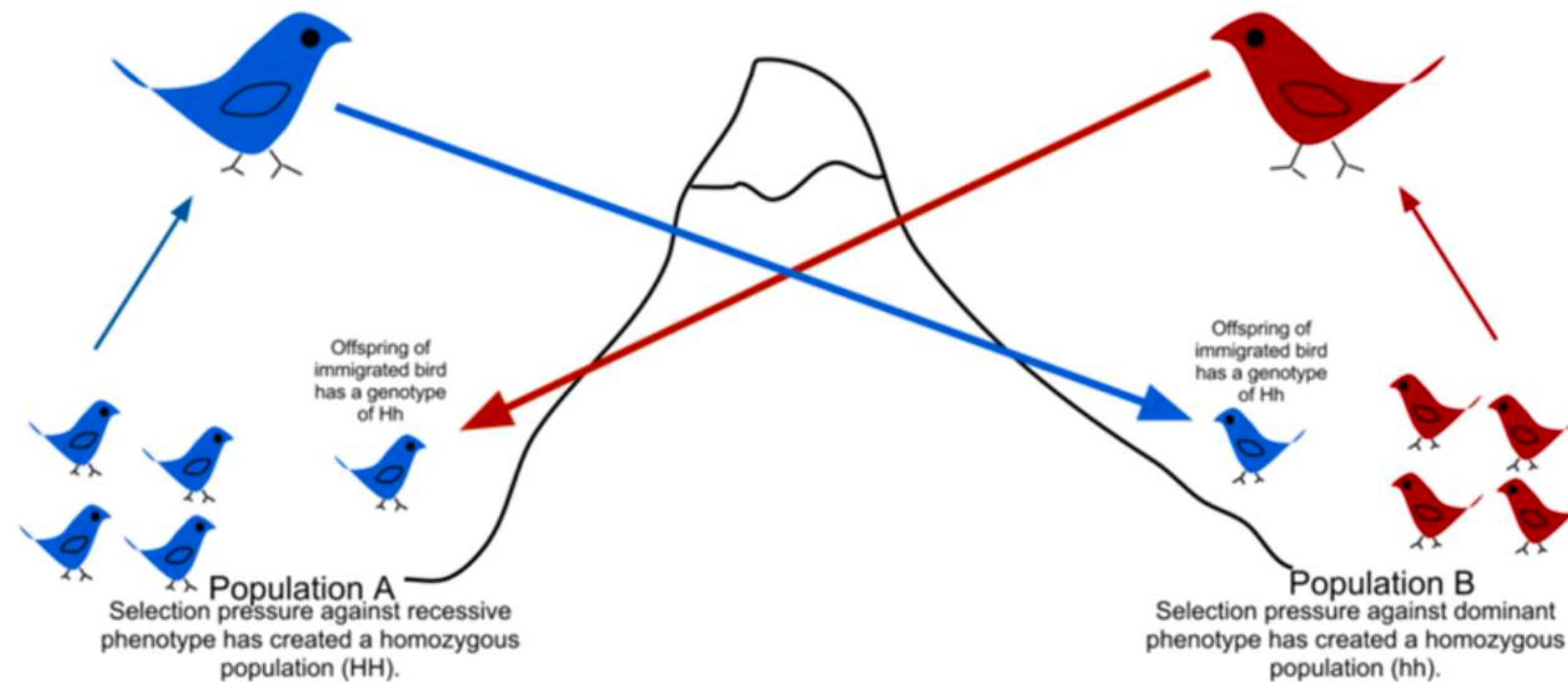
基因漂移—小种群几率效应

- 当种群内个体数量足够小时，种群中频率低的等位基因有可能由于几率效应丢失
- 举例：胡特尔派（没有B型血的人）



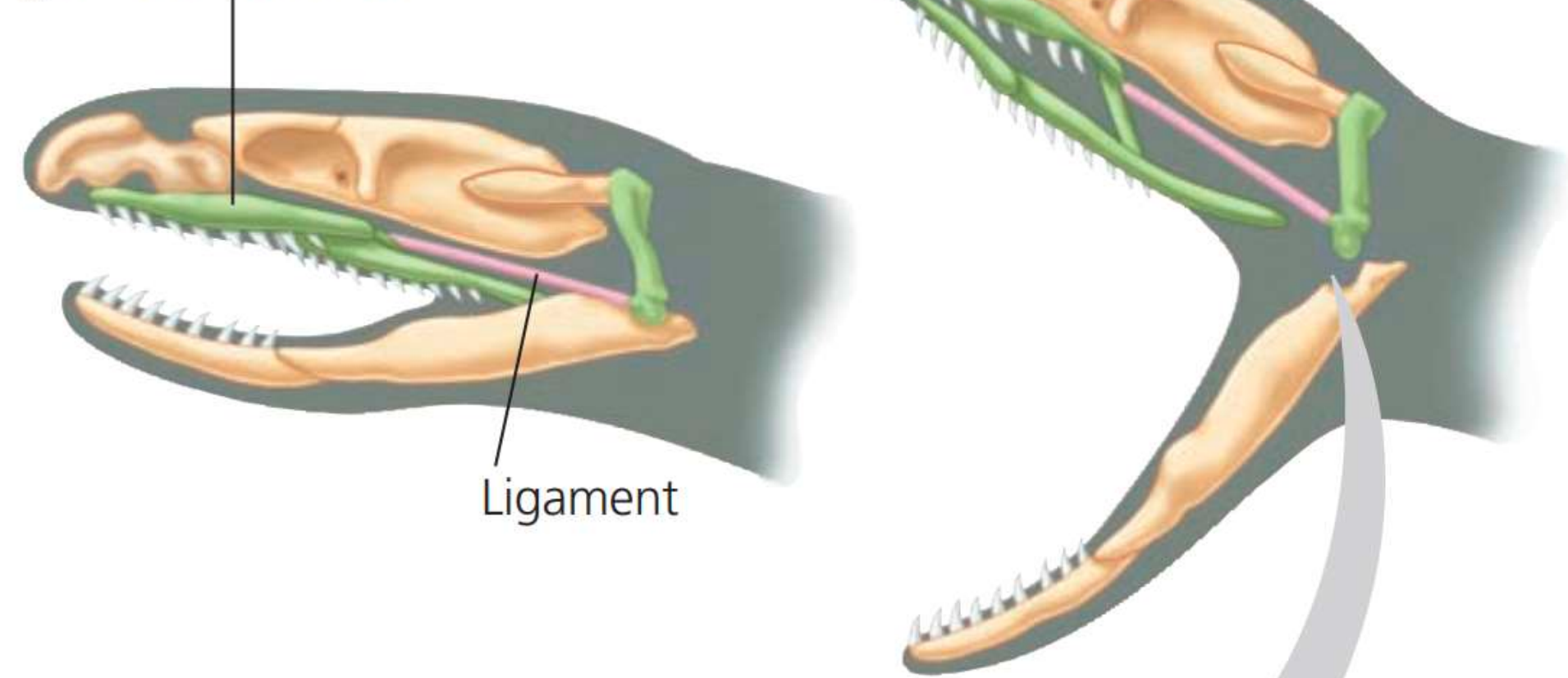
基因流动 (Gene Flow)

- 一个等位基因从一个种群传递到另外一个种群
- 改变一个种群中等位基因的频率
- 不能从一个物种传递到另一个物种——因为生殖隔离



自然选择 (Natural selection)

The bones of the upper jaw that are shown in green are movable.



Ligament

The skull bones of most terrestrial vertebrates are relatively rigidly attached to one another, limiting jaw movement. In contrast, most snakes have movable bones in their upper jaw, allowing them to swallow food much larger than their head.



指一个种群中的个体之间由于性状差异，从而导致了个体间的生存差异和繁殖差异

自然选择是唯一持续导致适应性进化的机制

关于自然 选择的几 点观察

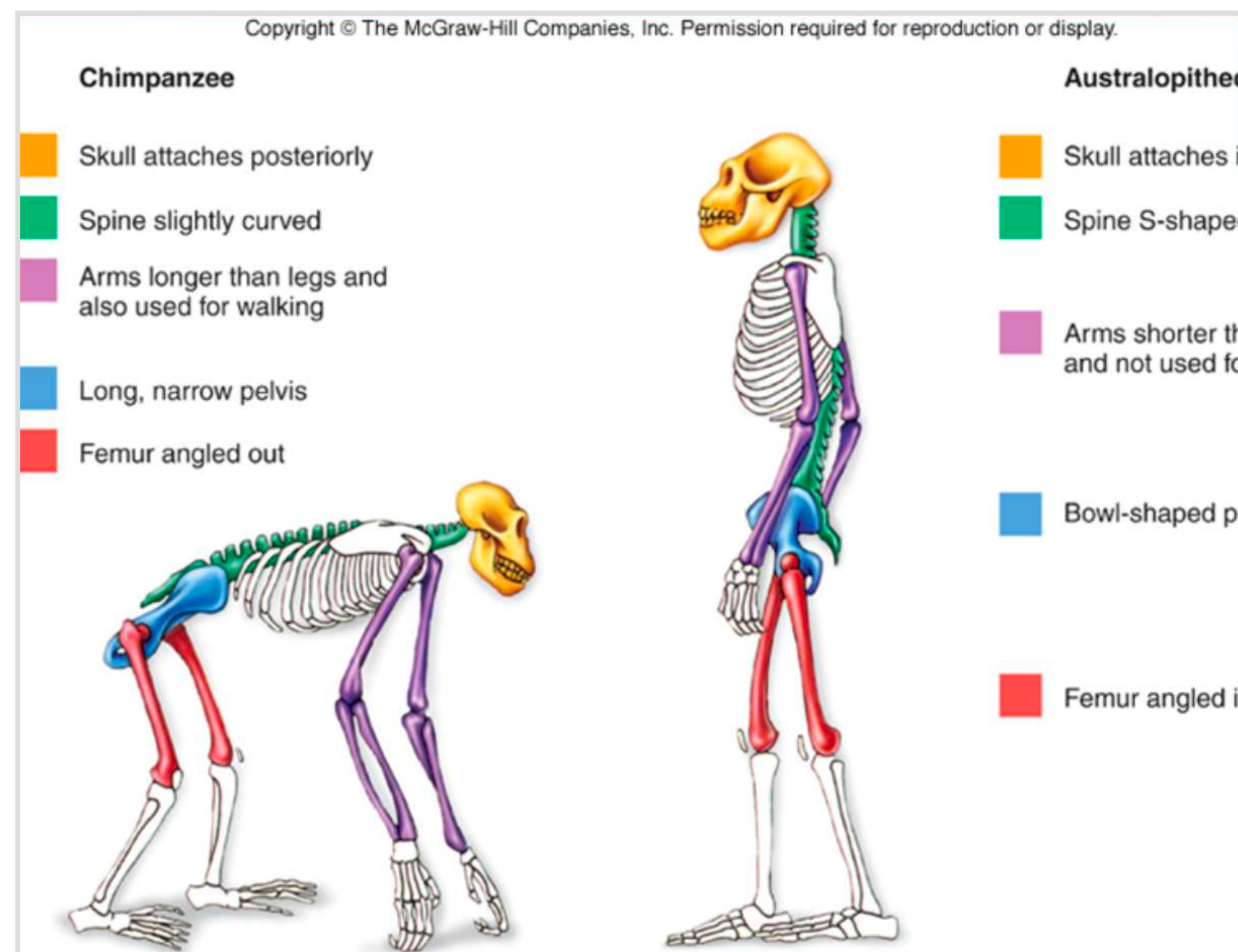
种群中的个体存在可
遗传差异

过度繁殖

生存斗争+适者生存

存活率高的倾向产生
更多后代（成功繁殖）

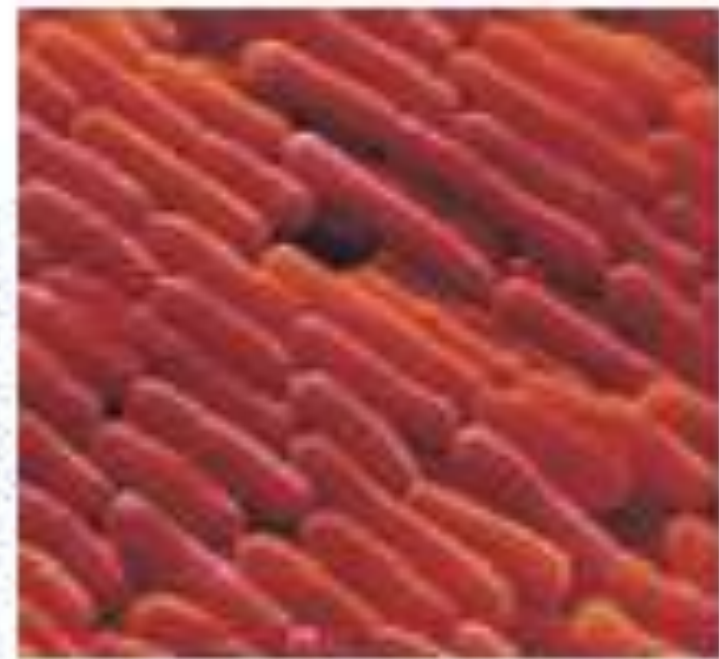
自然选择是否能够帮助生物体演化出完美的性状?



Six kingdoms of life 生物的六界

细菌

Bacteria



1 μm

(a) The large, rod-shaped bacterium *Bacillus anthracis*, a member of kingdom Bacteria, causes anthrax, a cattle and sheep disease that can infect humans.

古细菌

Archaea



5 μm

(b) These archaea (*Methanosarcina mazei*), members of the kingdom Archaea, produce methane.

原生动物

Protista



10 μm

(c) Unicellular protozoa (*Tetrahymena*) are classified in kingdom Protista.

植物

Plantae



(d) The plant kingdom claims many beautiful and diverse forms, such as the lady's slipper (*Phragmipedium caricinum*).

动物

Animalia



(e) Among the fiercest members of the animal kingdom, lions (*Panthera leo*) are also among the most sociable. The largest of the big cats, lions live in prides (groups).

真菌

Fungi



(f) Mushrooms, such as these fly agaric mushrooms (*Amanita muscaria*), belong to kingdom Fungi. The fly agaric is poisonous and causes delirium, raving, and profuse sweating when ingested.



演化的证据

生物演化

种群，物种

遗传多样性来源

基因座

基因库

等位基因频率

Hardy-Weinberg 定律

基因漂移

基因流动

自然选择



讨论题

1. 质粒在演化上存在的意义是什么?
2. 基因编辑技术原理，由此讨论基因编辑技术的前景与挑战
3. 什么是类器官？讨论类器官技术的前景与挑战
4. 不同物种间都可能有哪些因素导致无法交配成功或无法产生有繁殖能力的后代？
5. 自然选择是否等于适者生存？为什么？
6. 从演化的角度解释为什么近亲结婚不好？