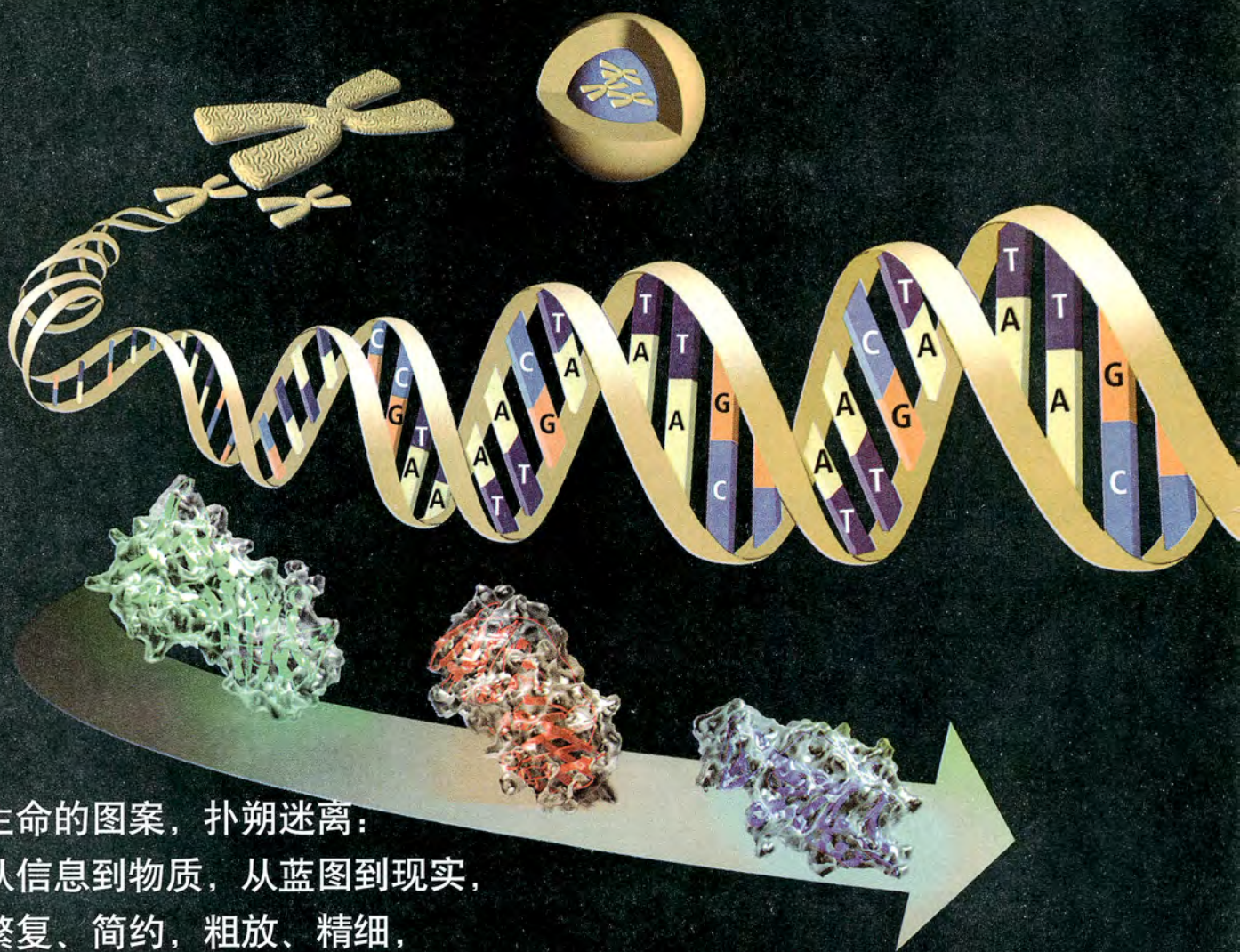


第4章 基因的表达

遗传物质实验证据的获得和DNA双螺旋结构模型的建立，解决了“基因是什么”的问题，生物学的研究从此以空前的步伐前进。另一个长期悬而未决的问题——“基因是如何起作用的”，成为研究的新热点。

关于蛋白质的研究，此时也有了长足的进展。人们认识到性状的形成离不开蛋白质（特别是酶）的作用，于是推测基因通过指导蛋白质的合成来控制性状，并将这一过程称为基因的表达。



生命的图案，扑朔迷离：
从信息到物质，从蓝图到现实，
繁复、简约，粗放、精细，
是谁创造出，如此的和谐与统一？

第 1 节 基因指导蛋白质的合成



电影《侏罗纪公园》中的恐龙

问题探讨

美国科幻电影《侏罗纪公园》曾轰动一时。在侏罗纪公园中，生活着各种各样的恐龙，它们在原野中跳跃飞奔、相互争斗，给观众留下了极为深刻的印象。影片说，复活的恐龙是科学家利用提取出的恐龙的 DNA 分子培育繁殖而来的。

讨论：利用已灭绝的生物的 DNA 分子，真的能够使灭绝的生物复活吗？

本节聚焦

- 哪些细胞组分参与了蛋白质的合成？
- 什么是遗传密码？
- 基因如何指导蛋白质的合成？

想像空间

如果把细胞核想像成司令部，把细胞质想像成战场，那么 DNA 相当于什么角色？它为什么不能到细胞质中直接指挥蛋白质的合成？

基因如何指导蛋白质的合成？我们知道，基因是有遗传效应的 DNA 片段；DNA 主要存在于细胞核中，而蛋白质的合成是在细胞质中进行的。那么，DNA 携带的遗传信息是怎样传递到细胞质中去的呢？当遗传信息到达细胞质后，细胞又是怎样解读的呢？

遗传信息的转录

细胞核中的 DNA 如何指导细胞质中的蛋白质合成？科学家推测，在 DNA 和蛋白质之间，还有一种中间物质充当信使。后来发现细胞中的确有这样的物质，它就是 RNA。

为什么 RNA 适于作 DNA 的信使呢？

RNA 是另一类核酸，它的分子结构与 DNA 很相似：它也是由基本单位——核苷酸连接而成的，核苷酸也含有 4 种碱基，可以储存遗传信息，因此，有人把 RNA 称做 DNA 的副本。与 DNA 不同的是，组成 RNA 的五碳糖是核糖而不是脱氧核糖（图 4-1）；RNA 的碱基组成中没有碱基 T（胸

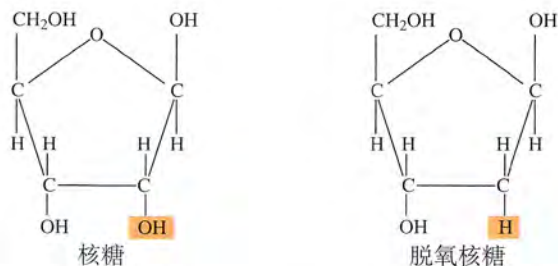


图 4-1 核糖与脱氧核糖

腺嘧啶)，而替换成碱基U（尿嘧啶）（图4-2）；RNA一般是单链，而且比DNA短，因此能够通过核孔，从细胞核转移到细胞质中。

RNA有三种（图4-3）。上面介绍的作为DNA信使的RNA叫信使RNA（messenger RNA），也叫mRNA。此外还有转运RNA（transfer RNA），也叫tRNA，以及核糖体RNA（ribosomal RNA），也叫rRNA。

DNA的遗传信息是怎么传给mRNA的？

科学家通过研究发现，RNA是在细胞核中，以DNA的一条链为模板合成的，这一过程称为转录（transcription）。当细胞开始合成某种蛋白质时，编码这个蛋白质的一段DNA双链将解开（图4-4），双链的碱基得以暴露。细胞中游离的核糖核苷酸与供转录用的DNA的一条链上的碱基互补配对，在RNA聚合酶的作用下，依次连接，形成一个mRNA分子。

脱氧核糖	磷酸	核糖
DNA	腺嘌呤(A) 鸟嘌呤(G) 胞嘧啶(C) 胸腺嘧啶(T)	RNA 尿嘧啶(U)

图4-2 DNA与RNA在化学组成上的区别

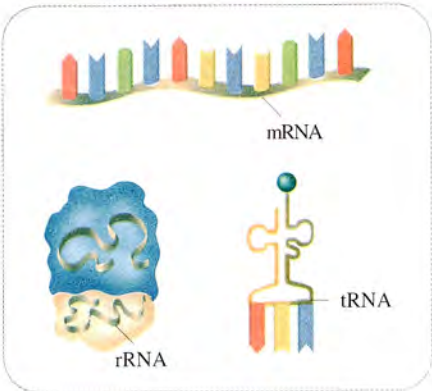


图4-3 三种RNA示意图

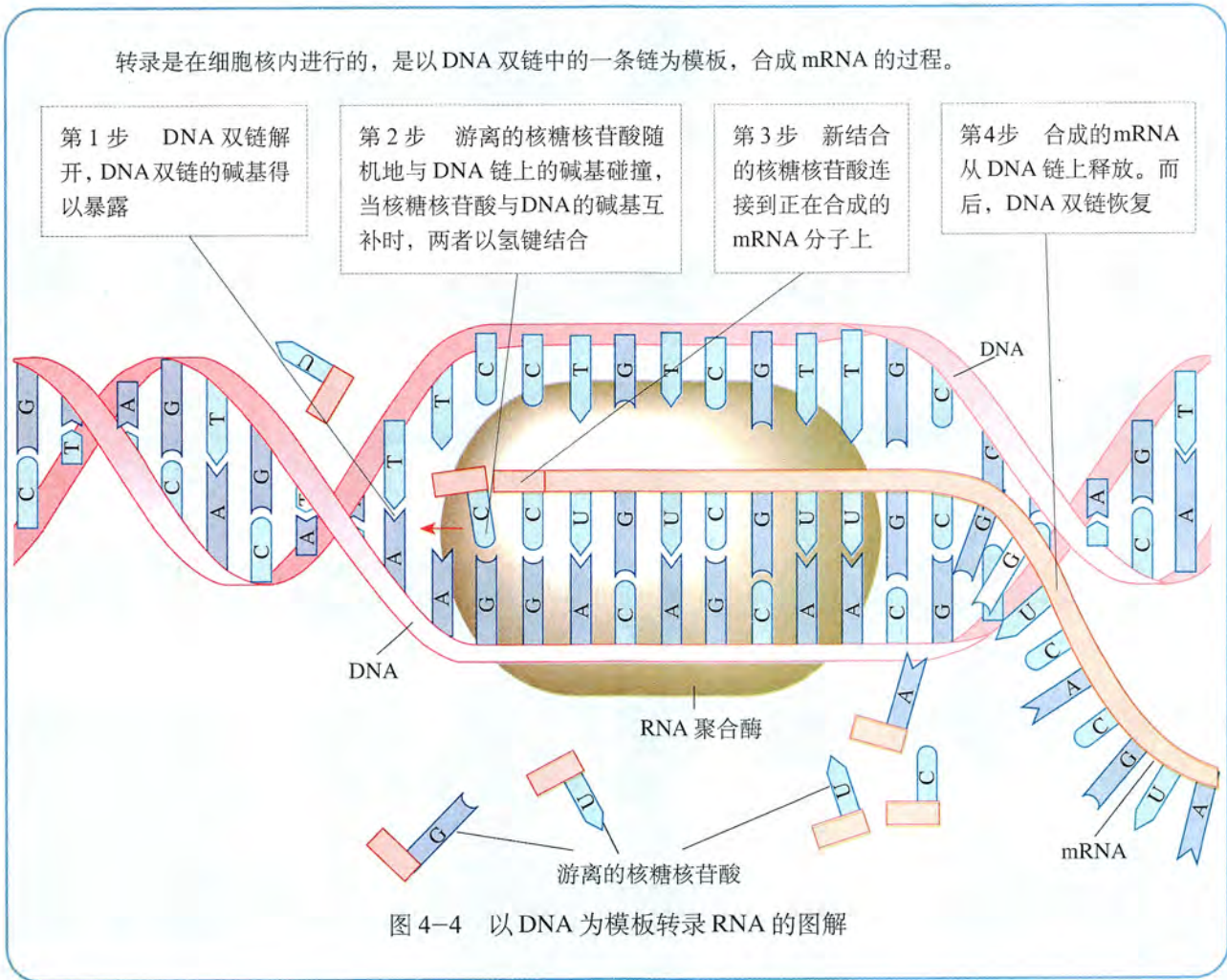


图4-4 以DNA为模板转录RNA的图解



思考与讨论

1. 转录与DNA复制有什么共同之处？这对保证遗传信息的准确转录有什么意义？
2. 转录成的RNA的碱基序列，与作为模板

的DNA单链的碱基序列有哪些异同？与该DNA的另一条链的碱基序列有哪些异同？

遗传信息的翻译

mRNA合成以后，就通过核孔进入细胞质中。游离在细胞质中的各种氨基酸，就以mRNA为模板合成具有一定氨基酸顺序的蛋白质，这一过程叫做翻译（translation）。

你已经知道，核酸中的碱基序列就是遗传信息。翻译实质上是将mRNA中的碱基序列翻译为蛋白质的氨基酸序列。想一想你查阅英汉词典的过程，正是借助于英文单词与汉字的对应关系，你才能将一篇英文翻译成汉语。要想知道mRNA是如何翻译成蛋白质的，首先也要寻找mRNA的碱基与氨基酸之间的对应关系。

碱基与氨基酸之间的对应关系是怎样的？

DNA和RNA都只含有4种碱基，而组成生物体蛋白质的氨基酸有20种。这4种碱基是怎么决定蛋白质的20种氨基酸的呢？如果1个碱基决定1个氨基酸，那么，4种碱基只能决定4种氨基酸。这种组合显然是不够的。



思考与讨论

请沿着上述思路，讨论：

1. 如果2个碱基编码1个氨基酸，最多能编码多少种氨基酸？

2. 一个氨基酸的编码至少需要多少个碱基，才足以组合出构成蛋白质的20种氨基酸？

上述推测只是破解遗传密码过程中的一步。后来，科学家又通过一步步的推测与实验，最终破解了遗传密码，得知mRNA上3个相邻的碱基决定1个氨基酸。每3个这样的碱基又称做1个密码子，科学家将64个遗传密码子编制成下面的密码子表（表4-1）。

表 4-1 20 种氨基酸的密码子表

第一个字母	第二个字母				第三个字母
	U	C	A	G	
U	苯 丙 氨 酸	丝 氨 酸	酪 氨 酸	半 胱 氨 酸	U
	苯 丙 氨 酸	丝 氨 酸	酪 氨 酸	半 胱 氨 酸	C
	亮 氨 酸	丝 氨 酸	终 止	终 止	A
	亮 氨 酸	丝 氨 酸	终 止	色 氨 酸	G
C	亮 氨 酸	脯 氨 酸	组 氨 酸	精 氨 酸	U
	亮 氨 酸	脯 氨 酸	组 氨 酸	精 氨 酸	C
	亮 氨 酸	脯 氨 酸	谷 氨 酰 胺	精 氨 酸	A
	亮 氨 酸	脯 氨 酸	谷 氨 酰 胺	精 氨 酸	G
A	异 亮 氨 酸	苏 氨 酸	天 冬 酰 胺	丝 氨 酸	U
	异 亮 氨 酸	苏 氨 酸	天 冬 酰 胺	丝 氨 酸	C
	异 亮 氨 酸	苏 氨 酸	赖 氨 酸	精 氨 酸	A
	甲 硫 氨 酸 (起始)	苏 氨 酸	赖 氨 酸	精 氨 酸	G
G	缬 氨 酸	丙 氨 酸	天 冬 氨 酸	甘 氨 酸	U
	缬 氨 酸	丙 氨 酸	天 冬 氨 酸	甘 氨 酸	C
	缬 氨 酸	丙 氨 酸	谷 氨 酸	甘 氨 酸	A
	缬 氨 酸 (起始)	丙 氨 酸	谷 氨 酸	甘 氨 酸	G



思考与讨论

- 请结合密码子表，讨论下列问题。
1. 已知一段 mRNA 的碱基序列是 AUGG AAGCAUGUCCGAGCAAGCCG，你能写出对应的氨基酸序列吗？

2. 地球上几乎所有的生物体都共用上述密码子表。根据这一事实，你能想到什么？

3. 从密码子表中可以看到，一种氨基酸可能有几个密码子，这一现象称做密码的简并。你认为密码的简并对生物体的生存发展有什么意义？

mRNA 进入细胞质后，就与蛋白质的“装配机器”——核糖体结合起来，形成合成蛋白质的“生产线”。有了“生产线”，还要有“工人”，才能生产产品。

游离在细胞质中的氨基酸，是怎样运送到合成蛋白质的“生产线”上的呢？

将氨基酸运到“生产线”上去的“搬运工”，是另一种 RNA——tRNA。tRNA 的种类很多，但是，每种 tRNA 只

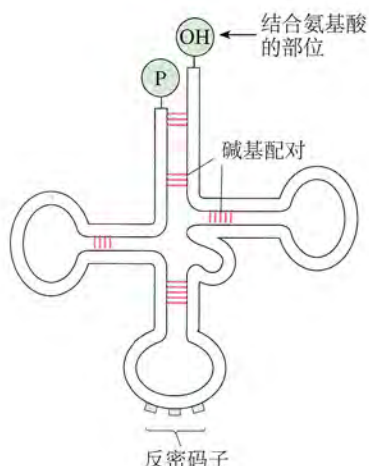


图 4-5 tRNA 的结构示意图

能识别并转运一种氨基酸。tRNA 分子比 mRNA 小得多，分子结构也很特别（图 4-5）：RNA 链经过折叠，看上去像三叶草的叶形，其一端是携带氨基酸的部位，另一端有 3 个碱基。每个 tRNA 的这 3 个碱基可以与 mRNA 上的密码子互补配对，因而叫反密码子。

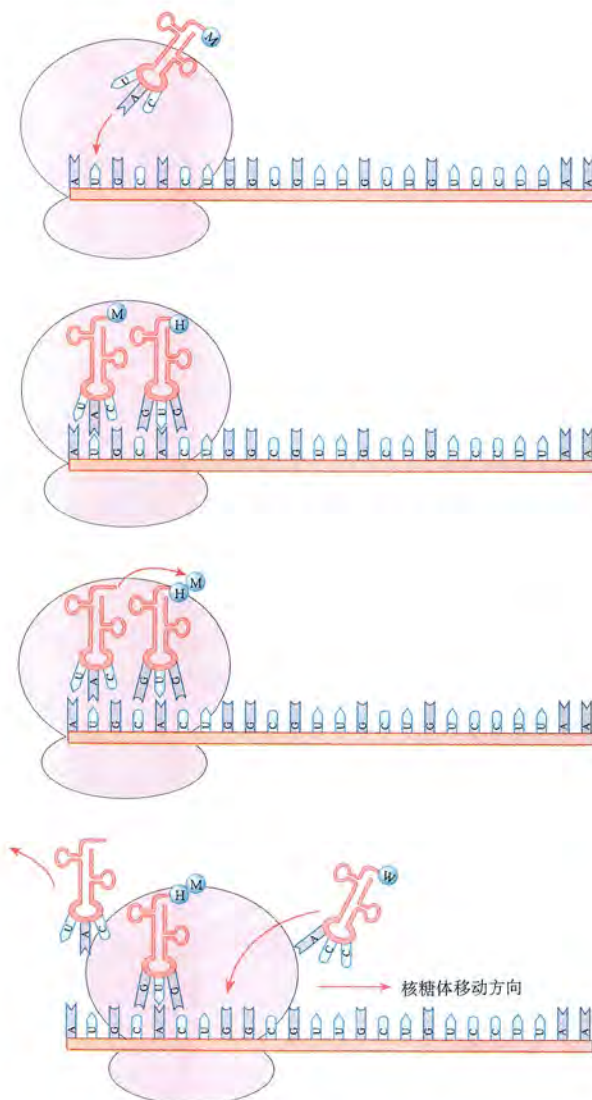
图 4-6 向你展示了蛋白质合成这条“生产线”的情景。注意，核糖体是可以沿着 mRNA 移动的。核糖体与 mRNA 的结合部位会形成 2 个 tRNA 的结合位点。如图所示，反密码子为 UAC 的 tRNA 携带甲硫氨酸，通过与 mRNA 的碱基 AUG 互补配对，进入位点 1。携带组氨酸的 tRNA 以同样的方式进入位点 2。甲硫氨酸通过与组氨酸形成肽键转移到占

第 1 步 mRNA 进入细胞质，与核糖体结合。携带甲硫氨酸的 tRNA，通过与碱基 AUG 互补配对，进入位点 1

第 2 步 携带组氨酸的 tRNA 以同样的方式进入位点 2

第 3 步 甲硫氨酸通过与组氨酸形成肽键而转移到占据位点 2 的 tRNA 上

第 4 步 核糖体读取下一个密码子，原占据位点 1 的 tRNA 离开核糖体，占据位点 2 的 tRNA 进入位点 1，一个新的携带氨基酸的 tRNA 进入位点 2，继续肽链的合成。重复步骤 2、3、4，直至核糖体读取到 mRNA 的终止密码



M: 甲硫氨酸 H: 组氨酸 W: 色氨酸

图 4-6 蛋白质合成示意图

据位点2的tRNA上。然后,核糖体沿着mRNA移动,读取下一个密码子。原占据位点1的tRNA离开核糖体,又去转运下一个甲硫氨酸,占据位点2的tRNA进入位点1,一个新的携带氨基酸的tRNA进入位点2,继续肽链的合成。上述步骤沿mRNA链不断进行,直至读取到mRNA上的终止密码,合成才告终止。



思考与讨论

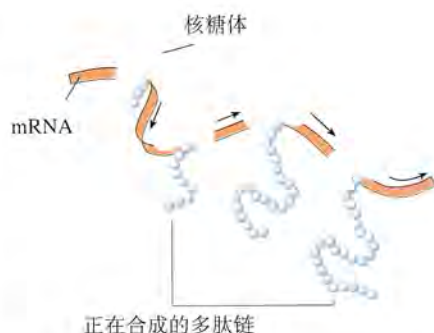
1. 图4-6中所示的是前3个氨基酸的连接过程,请你画图表示第4、第5个氨基酸连接到肽链上的过程。与同学讨论,怎样将示意图画得

正确和清晰。

2. 图4-6中所示的正在合成的肽链的氨基酸序列是什么?

在细胞质中,翻译是一个快速的过程。在37℃时,细菌细胞内合成肽链的速度约为每秒连接15个氨基酸。通常,一个mRNA分子上可以相继结合多个核糖体,同时进行多条肽链的合成(如右图),因此,少量的mRNA分子就可以迅速合成出大量的蛋白质。

肽链合成后,就从核糖体与mRNA的复合物上脱离,经过一系列步骤,被运送到各自的“岗位”,盘曲折叠成具有特定空间结构和功能的蛋白质分子,开始承担细胞生命活动的各项职责。



一个mRNA分子上结合多个核糖体,同时合成多条肽链



练习

一、基础题

1. 如果DNA分子一条链的碱基排列顺序是……ACGGATCTT……,那么,与它互补的另一条DNA链的碱基顺序是_____ ;如果以这条DNA链为模板,转录出的mRNA碱基顺序应该是_____。在这段mRNA中包含了_____个密码子,需要_____个tRNA才能把所需要的氨基酸转运到核糖体上,这些氨基酸的种类依次是_____。

2. 决定氨基酸的密码子指:

- A. DNA上的3个相邻的碱基;
- B. tRNA上的3个相邻的碱基;
- C. mRNA上的3个相邻的碱基;
- D. 基因上的3个相邻的碱基。

答 []

二、拓展题

1. 假设编码亮氨酸的密码子 CUA 中的一个碱基发生了改变,可能的变化是:第1个碱基C变成了U、A或G;或第2个碱基U变成了C、A或G;或第3个碱基A变成了U、C或G。请分析在这9种可能的变化中,哪几种变化确实引起了氨基酸的变化。通过这个实例,你认为密码的简并对生物体的生存发展有什么意义?

2. 你能根据肽链的氨基酸顺序,如甲硫氨酸—丙氨酸—亮氨酸—甘氨酸,写出确定的RNA的碱基序列吗?你认为遗传信息在从碱基序列到氨基酸序列的传递过程中,是否有损失?如果有,又是如何损失的?

第2节 基因对性状的控制

问题探讨



同一株水毛茛，裸露在空气中的叶和浸在水中的叶，表现出了两种不同的形态。

讨论：

1. 这两种叶形有什么区别？
2. 这两种形态的叶，其细胞的基因组成一样吗？
3. 你还能提出什么问题吗？

本节聚焦

- 什么是中心法则？
- 为什么说基因控制生物体的性状？
- 基因如何控制生物体的性状？

你能根据基因指导蛋白质合成的过程，画出一张流程图，表示遗传信息的传递方向吗？在蛋白质的合成过程完全弄清楚之前，科学家克里克首先预见了遗传信息传递的一般规律，并将这一规律命名为中心法则（central dogma）。“中心”二字显示了这一法则在生物学中的重要地位。

中心法则的提出及其发展

1957年，克里克提出中心法则：遗传信息可以从DNA流向DNA，即DNA的自我复制；也可以从DNA流向RNA，进而流向蛋白质，即遗传信息的转录和翻译（图4-7）。但是，遗传信息不能从蛋白质传递到蛋白质，也不能从蛋白质流向RNA或DNA。

此后五六年，科学家揭示了蛋白质的合成过程，中心法则由此获得公认。但是，随着实验数据的积累，人们开始注意到传统的中心法则存在的不足之处。

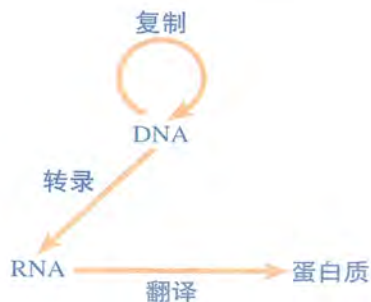


图4-7 中心法则图解



资料分析

中心法则的发展

1. 1965年,科学家在某种RNA病毒里发现了一种RNA复制酶,像DNA复制酶能对DNA进行复制一样,RNA复制酶能对RNA进行复制。

2. 1970年,科学家在致癌的RNA病毒中发现逆转录酶,它能以RNA为模板合成DNA。

3. 1982年,科学家发现一种结构异常的蛋白质可在脑细胞内大量“增殖”引起疾病。这种因错误折叠而形成的结构异常的蛋白质,可能促使与其具有相同氨基酸序列的蛋白质发生同样的折叠错误,从而导致大量结构异常的蛋白质的形成。

讨论:

1. 你认为上述实验证据是否推翻了传统的中心法则,为什么?

2. 作为生物学的核心规律之一,中心法则应该全面地反映遗传信息的传递规律。根据上述资料,你认为传统的中心法则是否需要修改?如果需要,应该如何修改?

3. 请根据讨论结果,修改图4-7的中心法则图解,建议用实线表示确信无疑的结论,用虚线表示可能正确的结论。

历经考验后的中心法则,补充了遗传信息从RNA流向RNA以及从RNA流向DNA这两条途径,比以往更加完善。这又一次向我们提示,科学的发展是无止境的。

基因、蛋白质与性状的关系

一百多年前,孟德尔曾经研究过豌豆的圆粒与皱粒这一对相对性状,并用遗传因子的假设作出了精彩的解释。如今,如何从基因控制蛋白质合成的角度来解释这一相对性状的形成呢?原来,与圆粒豌豆的DNA不同的是,皱粒豌豆的DNA中插入了一段外来DNA序列,打乱了编码淀粉分支酶的基因,导致淀粉分支酶不能合成,而淀粉分支酶的缺乏又导致细胞内淀粉含量降低,游离蔗糖的含量升高。淀粉能吸水膨胀,蔗糖却不能。当豌豆成熟时,淀粉含量高的豌豆能有效地保留水分,显得圆圆胖胖,而淀粉含量低的豌豆由于失水而显得皱缩。但是皱豌豆的蔗糖含量高,味道更甜美。

从上述实例可以看出,基因通过控制酶的合成来控制代谢过程,进而控制生物体的性状。又如,人的白化症状是由于控制酪氨酸酶的基因异常而引起的。酪氨酸酶存在于正常人的皮肤、毛发等处,它能将酪氨酸转变为黑色素;如果一个人由于基因不正常而缺少酪氨酸酶,那么这个人就不能合成黑色素,而表现出白化症状(图4-8)。

❓ 基因的改变仅仅引起生物体单一性状的改变吗?



图4-8 白化病患者

CFTR 基因缺失 3 个碱基

CFTR 蛋白结构异常，
导致功能异常

患者支气管内黏液增多

黏液清除困难，细菌
繁殖，肺部感染

图 4-9 囊性纤维病的病因图解

► 批判性思维

你如何评价基因决定生物体的性状这一观点？

除了上述方式以外，**基因还能通过控制蛋白质的结构直接控制生物体的性状**。下面以囊性纤维病为例来分析基因的这种控制作用。囊性纤维病是北美白种人中常见的一种遗传病，患者汗液中氯离子的浓度升高，支气管被异常的黏液堵塞，常于幼年时死于肺部感染。研究表明，在大约70%的患者中，编码一个跨膜蛋白（CFTR蛋白）的基因缺失了3个碱基，导致CFTR蛋白在第508位缺少苯丙氨酸，进而影响了CFTR蛋白的结构，使CFTR转运氯离子的功能异常，导致患者支气管中黏液增多，管腔受阻，细菌在肺部大量生长繁殖，最终使肺功能严重受损（图4-9）。此病目前还没有有效的治疗措施，但在基因水平上理解病因，将有助于人们找到合理有效的治疗方法。又如，由正常基因编码的血红蛋白组成的红细胞结构正常，呈圆饼状；而异常基因编码的血红蛋白组成的红细胞结构异常，其正常功能受到影响。

上述实例涉及的都是单个基因对生物体性状的控制。事实上，基因与性状的关系并不都是简单的线性关系。例如，人的身高可能是由多个基因决定的，其中每一个基因对身高都有一定的作用。同时，身高也不完全是由基因决定的，后天的营养和体育锻炼等也有重要作用。

基因与基因、基因与基因产物、基因与环境之间存在着复杂的相互作用，这种相互作用形成了一个错综复杂的网络，精细地调控着生物体的性状。

细胞质基因 1962年，科学家用电子显微镜观察衣藻、玉米等植物叶绿体的超薄切片，发现在叶绿体的基质中有长度为20.5 nm左右的细纤维存在。用DNA酶处理，这种细纤维就消失。由此证明，这种细纤维就是叶绿体DNA。后来，科学家用生物化学的方法，证明了细胞的线粒体中也含有DNA。线粒体和叶绿体中的DNA，都能够进行半自主自我复制，并通过转录和翻译控制某些蛋白质的合成。为了与细胞核的基因相区别，将线粒体和叶绿体中的基因称做细胞质基因。

对人的线粒体DNA的研究表明，线粒体DNA的缺陷与数十种人类遗传病有关。这些疾病很多是与脑部和肌肉有关的。例如，线粒体肌病和神经性肌肉衰弱、运动失调及眼视网膜炎等。这些遗传病都只能通过母亲遗传给后代。



技能训练

提出假说，得出结论

遗传学家曾做过这样的实验：长翅果蝇幼虫正常的培养温度为 25°C ，将孵化后4~7 d的长翅果蝇幼虫放在 $35\sim 37^{\circ}\text{C}$ 的环境中处理6~24 h后，得到了一些残翅果蝇，这些残翅果蝇在



长翅果蝇（左）和残翅果蝇（右）

正常环境温度下产生的后代仍然是长翅果蝇。

1. 请针对出现残翅果蝇的原因提出假说，进行解释。

提示：翅的发育是否经过酶催化的反应？酶与基因的关系是怎样的？酶与温度的关系是怎样的？

2. 这个实验说明基因与性状的关系是怎样的？



练习

一、基础题

1. 下面是关于基因、蛋白质和性状三者间关系的叙述，其中不正确的是：

- A. 生物体的性状完全由基因控制；
- B. 蛋白质的结构可以直接影响性状；
- C. 基因控制性状是通过控制蛋白质的合成来实现的；
- D. 蛋白质的功能可以影响性状。

答 []

2. 判断下列表述是否正确。

(1) 基因与性状之间是一一对应的关系。

()

(2) 基因通过控制酶的合成来控制生物体的所有性状。

()

(3) 中心法则总结了遗传信息在细胞内的传递规律。 ()

二、拓展题

1. 形成果蝇红眼的直接原因是红色色素的形成，而红色色素的形成需要经历一系列生化反应，每一个反应所涉及的酶都与相应的基因有关，因此，红眼的形成实际上是多个基因协同作用的结果。但是，科学家只将其中一个因突变而导致红眼不能形成的基因命名为红眼基因。请你根据上述事实，分析红眼的形成与红眼基因的关系。

2. 摩尔根通过白眼这一异常性状发现了控制果蝇眼色的基因。还有许多科学家也是从生物体的异常性状入手，研究相关基因的作用。想一想这是为什么？



生物信息学

——融合生物学与计算机科学的新兴学科

在过去的几十年中,生物学与计算机科学都经历了突飞猛进的高速发展。据统计,DNA序列数据平均每14个月翻一番,而计算机的运算速度平均每18个月翻一番!与日俱增的DNA序列数据,要求强大的数据处理工具,而计算机正具备这样的能力。生物信息学就在这两门学科相互渗透的背景中诞生了。

生物信息学涵盖的范围很广,从基因组数据分析的角度来说,主要是指核酸和蛋白质序列数据的计算机处理和分析,即利用具有高速运算能力的计算机,处理数以亿计的序列数据,解决DNA碱基序列中究竟包含着什么信息,这些信息怎样控制有机体的发育,基因组本身又是怎样进化的等问题。

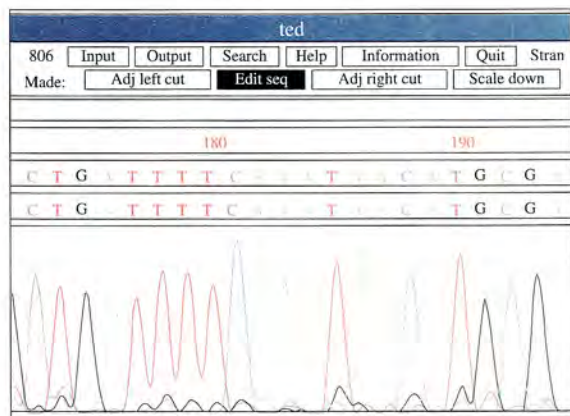
20世纪90年代以来,伴随着各种基因组测序计划的展开和互联网的普及,生物学数据库如雨后春笋般迅速出现和成长。在国际核酸序列数据库中,影响最大的三个数据库是,美国的GenBank、欧洲分子生物学实验室的EMBL和日本的DDBJ。

诺贝尔奖获得者吉尔伯特(W. Gilbert)在1991年曾经指出:“传统生物学解决问题的方式是从实验出发的。现在,全部基因

都将知晓,并以电子可操作的方式驻留在数据库中,新的生物学研究模式的出发点应是理论的。一个科学家将从理论推测出发,然后再回到实验中去,追踪或验证这些理论假设。”



DNA 测序仪



DNA 序列分析

第3节 遗传密码的破译（选学）

问题探讨



莫尔斯密码是一种电报密码。

1. 请你根据左侧提供的莫尔斯密码表，将下面用莫尔斯密码编写的问题译成英文，每个密码之间已用斜线分隔开。

. — — / / . / . — . / . / . — /
. — . / . / — — . / . / — . / . / . . . / . — . . /
— — — / — . — . / . — / — / . / — . . /

2. 请用莫尔斯密码回答上面的问题。

3. 如果没有左图，你能够根据用莫尔斯密码写成的句子及其对应的英文，破译莫尔斯密码，总结出左图这样的密码表吗？

遗传密码的破译是生物学史上一个伟大的里程碑。自1953年DNA双螺旋结构模型提出以后，科学家就围绕遗传密码的破译展开了全方位的探索。在伽莫夫（G. Gamov, 1904—1968）提出3个碱基编码1个氨基酸的设想之后，科学家通过不断地推测与实验，最终找到了答案。

遗传密码的阅读方式

回顾“问题探讨”中由莫尔斯密码写出的问题，其中每个密码之间都已用斜线分隔开，阅读时只需逐个翻译密码就可以了。类推到遗传密码，如果3个碱基决定1个氨基酸，是不是也只需以3个碱基为1个阅读单位，依次阅读呢？从理论上分析，除了这种方式以外，还存在着另外一种阅读方式，即重叠的阅读方式（图4-10）。

科学家为什么要分析遗传密码的阅读方式呢？这是因为，即使是同一个碱基序列，不同的阅读方式解读出来的含义会完全不同。要正确地理解遗传密码的含义，必须掌握密码的阅读方式。

本节聚焦

- 遗传密码是如何破译的？
- 遗传密码有哪些特点？



图 4-10 以重叠和非重叠的方式阅读 DNA 序列



思考与讨论

1. 当图中 DNA 的第三个碱基 (T) 发生改变时, 如果密码是非重叠的, 这一改变将影响多少个氨基酸? 如果密码是重叠的, 又将产生怎样的影响?

2. 在图中 DNA 的第三个碱基 (T) 后插入一个碱基 A, 如果密码是非重叠的, 这一改变将影响多少个氨基酸? 如果密码是重叠的, 又将产生怎样的影响? 如果插入 2 个、3 个碱基呢?

克里克的实验证据

遗传密码真的是以 3 个碱基为一组吗? 遗传密码的阅读方式究竟是重叠的还是非重叠的? 密码之间是否有分隔符? 解答这些问题, 不能只靠理论推导, 必须拿出实验证据。科学家克里克和他的同事通过大量的实验工作, 于 1961 年找到了答案。

克里克以 T_4 噬菌体为实验材料, 研究其

中某个基因的碱基的增加或减少对其所编码的蛋白质的影响。克里克发现, 在相关碱基序列中增加或者删除一个碱基, 无法产生正常功能的蛋白质; 增加或者删除两个碱基, 也不能产生正常功能的蛋白质; 但是, 当增加或者删除三个碱基时, 却合成了具有正常功能的蛋白质。为什么会产生这样的结果? 请你结合下面的实例, 进行类比分析。

THE FAT CAT ATE THE BIG RAT

句中的每个单词都由 3 个字母组成, 7 个单词连成一句。

THE FAT CAR TAT ETH EBI GRA T

第 3 个单词中插入字母 R, 仍然按照 3 个字母组成一个单词的阅读方式阅读, 从插入处开始的所有单词都被改变。

THE FAT CAR TAR TET HEB IGR AT

第 3 和第 4 个单词中分别插入字母 R, 从插入处开始的所有单词都被改变。

THE FAT CAR TAR TOE THE BIG RAT

当第 3、4、5 个单词中都插入 1 个字母时, 除了插入处的单词以外, 其他部分的单词都没有改变。

克里克是第一个用实验证明遗传密码中3个碱基编码1个氨基酸的科学家。这个实验同时表明：遗传密码从一个固定的起点开始，以非重叠的方式阅读，编码之间没有分隔符。

遗传密码对应规则的发现

克里克的实验虽然阐明了遗传密码的总体特征，但是，却无法说明由3个碱基排列成的1个密码对应的究竟是哪一个氨基酸。就在克里克的实验完成的同一年，两个名不见经传的年轻人尼伦伯格（M. W. Nirenberg, 1927—2010）和马太（H. Matthaei, 1929—）破译了第一个遗传密码。

与克里克的思路完全不同，尼伦伯格和马太采用了蛋白质的体外合成技术。他们在每个试管中分别加入一种氨基酸，再加入除去了DNA和mRNA的细胞提取液，以及人工合成的RNA多聚尿嘧啶核苷酸，结果加入了苯丙氨酸的试管中出现了多聚苯丙氨酸的肽链（图4-11）！

为什么要除去细胞提取液中的DNA和mRNA？

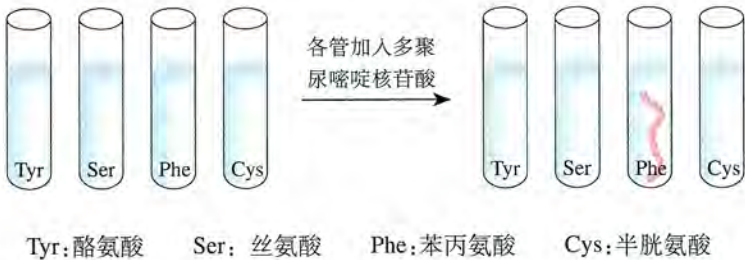


图4-11 蛋白质体外合成的实验示意图

如果你是尼伦伯格或马太，你将如何设计对照组的实验，确保你的重大发现得到同行的认可？

实验结果说明，多聚尿嘧啶核苷酸导致了多聚苯丙氨酸的合成，而多聚尿嘧啶核苷酸的碱基序列是由许多个尿嘧啶组成的（UUUUU……），可见尿嘧啶的碱基序列编码由苯丙氨酸组成的肽链。结合克里克得出的3个碱基决定1个氨基酸的实验结论，与苯丙氨酸对应的密码子应该是UUU。在此后的六七年里，科学家沿着蛋白质体外合成的思路，不断地改进实验方法，破译出了全部的密码子，并编制出了密码子表（表4-1）。



练习

一、基础题

1. 组成 mRNA 分子的 4 种核苷酸能组成多少种密码子?

A. 16; B. 32; C. 46; D. 64。

答 []

2. 比较本节“问题探讨”中的莫尔斯密码与

遗传密码的异同, 总结遗传密码的特点。

二、拓展题

比较克里克与尼伦伯格所采用的实验方法, 想一想这两种方法各有哪些优势和不足。

本章小结

基因的表达是通过 DNA 控制蛋白质的合成来实现的。蛋白质的合成包括两个阶段——转录和翻译。转录是在细胞核内进行的, 是以 DNA 的一条链为模板, 按照碱基互补配对原则, 合成 mRNA 的过程。翻译是在细胞质中进行的, 是指以 mRNA 为模板, 合成具有一定氨基酸顺序的蛋白质的过程。mRNA 上 3 个相邻的碱基编码 1 个氨基酸, 这样的 3 个碱基又称做密码子。tRNA 是氨基酸的运载工具, 它能够识别 mRNA 的密码子。每种 tRNA 只能识别并转运 1 种氨基酸。核糖体是细胞内利用氨基酸合成蛋白质的场所。

中心法则描述了遗传信息的流动方向, 其主要内容是: 遗传信息可以从 DNA 流向 DNA, 即 DNA 的自我复制, 也可以从 DNA 流向 RNA, 进而流向蛋白质, 即遗传信息的转录和翻译。但是, 遗传信息不能从蛋白质传递到蛋白质, 也不能从蛋白质流向 RNA 或 DNA。修改后的中心法则增加了遗传信息从 RNA 流向 RNA 以及从 RNA 流向 DNA 这两条途径。

基因控制生物体的性状是通过指导蛋白质的合成来实现的。基因可以通过控制酶的合成来控制代谢过程, 进而控制生物体的性状; 也可以通过控制蛋白质的结构直接控制生物体的性状。

基因与性状之间并不是简单的一一对应关系。有些性状是由多个基因共同决定的, 有的基因可决定或影响多种性状。一般来说, 性状是基因与环境共同作用的结果。

自我检测

一、概念检测

填表题

根据蛋白质合成中遗传信息的传递过程，在表格的空白处填入相应的英文字母。

DNA 双链	1			
	2			
mRNA				
tRNA				
氨基酸	丙氨酸（密码子为 GCA）			

选择题

1. 已知一段双链DNA分子中，鸟嘌呤所占的比例为20%，由这段DNA转录出来的mRNA中，胞嘧啶的比例是：

- A. 10%； B. 20%；
C. 40%； D. 无法确定。

答 []

2. 一条多肽链中有500个氨基酸，则作为合成该多肽链的mRNA分子和用来转录mRNA的DNA分子至少有碱基多少个？

- A. 1 500 个和 1 500 个；
B. 500 个和 1 000 个；
C. 1 000 个和 2 000 个；
D. 1 500 个和 3 000 个。

答 []

3. 某转运RNA的反密码子为CAU，它所转运的氨基酸是：

- A. 缬氨酸（GUA）； B. 组氨酸（CAU）；
C. 酪氨酸（UAC）； D. 甲硫氨酸（AUG）。

答 []

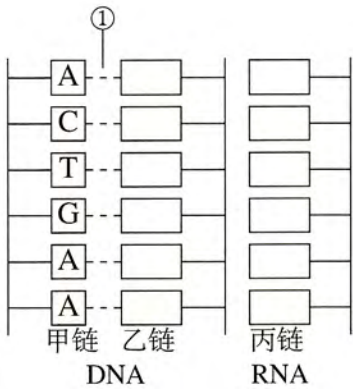
4. DNA 决定 mRNA 的序列是通过：

- A. mRNA 的密码； B. DNA 的自我复制；
C. 碱基互补配对； D. tRNA 的转运。

答 []

识图作答题

下图代表两个核酸分子的一部分，请根据下图回答问题。



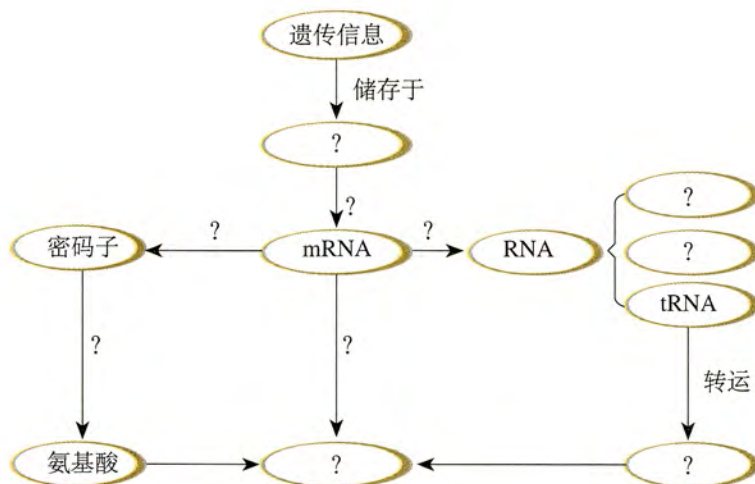
(1) DNA 分子复制时，图中①处的变化是_____，条件是需要_____和_____。

(2) 以乙链为模板合成丙链，丙链上的碱基排列顺序自上而下应是_____，这种遗传信息的传递叫_____。

(3) 在甲、乙、丙三链中，共有密码子_____个。

(4) 从图中所示过程分析，DNA 是通过_____原则决定丙链的碱基序列的。

画概念图



二、知识迁移

四环素、链霉素、氯霉素、红霉素等抗生素能抑制细菌的生长,它们有的能干扰细菌核糖体的形成,有的能阻止 tRNA 和 mRNA 结合。请根据以上事实说明这些抗生素可用于一些疾病治疗的道理。

三、技能应用

某种蛋白质由 1 251 个氨基酸组成,其中一段肽链的氨基酸序列是:—丙氨酸—丝氨酸—甲硫氨酸—亮氨酸—甘氨酸—丝氨酸—。

1. 请推测编码这段肽链的 DNA 双链的碱基序列。
2. 用这种方法推测基因的碱基序列可行吗?这种方法有什么优越性?
3. 推测能够代替用测序仪进行的基因测序

吗?为什么?

四、思维拓展

1. 人的胰岛细胞能产生胰岛素,但不能产生血红蛋白,据此推测胰岛细胞中:

- A. 只有胰岛素基因;
- B. 比人受精卵的基因要少;
- C. 既有胰岛素基因,也有血红蛋白基因和其他基因;
- D. 有胰岛素基因和其他基因,但没有血红蛋白基因。

答 []

2. 遗传密码的破译是理论推导和实验论证的结晶,你还能举出其他实例,说明理论与实验在科学发现中各自的重要作用及其相互关系吗?