



同济大学第二附属中学

No.2 Secondary School affiliated to Tongji University

同济二附中理工特色校本教材丛书

# 基因探秘

丛书主编 刘友霞

钱君 编





同济大学第二附属中学

No.2 Secondary School affiliated to Tongji University

同济二附中理工特色校本教材丛书

# 基因探秘

丛书主编 刘友霞

钱君 编

图书在版编目(CIP)数据

基因探秘/钱君编. —上海:上海人民出版社,  
2016  
(同济二附中理工特色校本教材丛书/刘友霞主编)  
ISBN 978-7-208-13587-1

I. ①基… II. ①钱… III. ①基因-高中-教材  
IV. ①G634.911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 012139 号

责任编辑 罗 俊

封面设计 汪 昊

• 同济二附中理工特色校本教材丛书 •

刘友霞 主编

**基 因 探 秘**

钱 君 编

世 纪 出 版 集 团

上海人民出版社出版

(200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co)

世纪出版集团发行中心发行 上海商务联西印刷有限公司印刷

开本 890×1240 1/16 印张 9.25 字数 172,000

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-208-13587-1/G · 1776

定价 18.50 元

## 同济二附中理工特色校本教材丛书

主 编：刘友霞

顾 问：廖宗廷 王 群

分册编写：钱 君

编 委 会：金文娟 陆 杰 刘 洁

吴振华 李松浦

钱 君 沈红霞 方 艳

陆旻丰 薛苗苗

# 序

世界因生命的存在而丰富多彩，而生命的诞生、发育、生长、病变、衰老乃至死亡的整个过程均受到基因的控制。DNA 和 RNA 链上碱基的排列顺序蕴藏着生命运动的时空信息。尽管规模宏伟的基因组研究计划已经揭示了这些信息的一部分，但这还只是冰山一角，还有更多关于基因的秘密等待我们去探索。

要解决目前人类面临的一系列重大问题，如人口膨胀、食物短缺、能源危机、环境污染及疾病危害等，将在很大程度上依赖于生命科学和生物技术的进步与发展。学习生命科学和生物技术的目的之一，就是不断探索基因的秘密，不断地认识生命、改造生命和优化生命。而作为实验性非常强的学科，学会做实验是学好生命科学不可或缺的内容。在这一学习过程中，需要培养学生敏锐的观察力、提出科学问题的能力、选择最优实验策略和方法的能力、完成实验操作和结果分析的能力。这些能力将为他们对生命科学的理解奠定坚实的基础。

从成立之初，同济大学第二附属中学就致力于学生综合素质的培养与提升，重视实验教学。自 2012 年以来，在市、区各方面领导和部门的大力支持下，依托同济大学和中科院，建设了一批创新实验室，成为学校创建理工高中、培养学生理工素养的重要载体，也成为学校科技教育的重要组成部分，各实验室根据专业特点开设了相应的实验和探索课程。我欣喜地看到：在这个过程中，一批骨干教师经过几轮的教学实践，选择符合高中学生知识背景的实验项目，在紧张的教学之余，编写了这本《基因探秘》校本教材，以适应实验和探索课程的需求。

应该校的邀请，我有幸为本教材作序。为此我通读了教材。教材以“基因”为主线，以动物、植物和微生物为材料，围绕基因的复制、表达、与性状的关系、基因突变和改造等内容，展开对基因的探索。本教材对高中通用教材中的分子生物学、遗传学、基因工程等内容进行了拓展，加强了实践环节的训练。值得肯定的是：教材以较大篇幅阐述了生命科学实验的注意事项、实验记录的基本要求、常用仪器的使用等内容，附录中收录了往届学生的小论文等，这无疑是一个很好的尝试，对培养学生对生物科学的兴趣、提高学生的科学素养都是非常有益的。在本教材的实践部分，要求学生根据自己的兴趣和实验室的条件，自主开展实验，对培养学生发现问题、提出问题、解决问题的能力大有裨益。对加深对生命科学理论知识的理解、提高运用知识解决实际问题的能力大有好处。

20 世纪薛定谔等人提出的“21 世纪将是生物学的世纪”这一预言已经变成现实。作为自然科学的带头学科，生命科学必将对未来的人类经济、科技、政治和社会发展发挥全方位的作用。如果您热爱生命、热爱科学，来吧！为生命科学这一朝阳领域献出自己的智慧和力量！

同济大学生命科学与技术学院 刘志学

2015 年 11 月于上海

## 前言

首先，欢迎大家来到同济大学第二附属中学生命科学创新实验室。

生命是什么？生命从何而来？又将去往何处？科学家如何从酒精沉淀的未知物质到发现 DNA 结构模型，又是如何利用和改造人体内的大肠杆菌来解释复杂的生命调控网络？我们如何根据自己的意愿和人类的需要来改造生物？生物又是如何适应和改造环境的？这些神奇的现象背后都隐藏着非常简单的自然规律，期待着你用不同的研究方法去探索和解释更多的生命现象。

生命科学是一门以实验为基础的学科，要解释和探索生命现象必须通过动手实验来完成。我们已经做过许许多多的实验，这本书只收录了其中最经典和完善的一部分。在教师和学生共同探索和多次尝试过程中，我们还在不断开发新的实验项目。书中的实验涉及动物、植物和微生物，同学们可以选择不同的实验材料去研究和探索。如果在实验过程中第一次没有成功，不要气馁，因为使用的实验材料不同、选择的实验方法不同都会导致实验结果出现偏差，因此查阅文献和设计方案显得尤为重要。同时，生物学实验又是枯燥的、需要耐心的——生物学实验耗时，许多实验结果需要耐心等待；生物学实验还容易受到非实验因素的影响，当你在漫长的等待之后，得到实验失败的结果时，你会不会感到沮丧、失望，想要放弃呢？其实，成功可能就在下一次实验时出现。相信同学们都是本着对生命科学的兴趣和爱好而选择了这门课程，所以，建议每个同学充分考虑生物学实验的特性，充分考虑自己的实际情况，在对本课程做出选择之前认真考虑，在做出决定之后认真对待每一次实验课，当实验失败时，不要轻言放弃。

初来乍到，你对实验室必然有一个逐步适应和熟悉的过程，本教材可以帮助你更快地完成这个过程。如果你对实验室有任何好的建议和想法，或者对本教材的不足有任何建议，请直接与教师进行交流和讨论，教学相长。

除此之外，纵观近年的高考试题，生物实验设计都占有一定的比例，未来的高考在设计实验方面的分值也不会减少。因此加强实验设计能力的培养无论是训练学生的思维品质、培养学生的创新能力还是应对高考都有重要的现实意义。本书中的实验项目不仅为你提供生动鲜明的生物学图景，更重要的是培养你的思维、探究能力。

本书由钱君编写，刘友霞主审。经过三轮修改，并在同济大学生命科学与技术学院刘志学教授的专业指导下，基本定稿。此外，本书在编写过程中得到了同济大学第二附属中学老师们的支持和关心，在此一并表示感谢。

同时感谢以前参与到实验室中的同学们，和他们一起度过的时光让我非常快乐！他们利用大量的课余时间进行课题研究，帮助实验室建立了小白鼠、果蝇以及斑马鱼的饲养、繁殖、研究体系，不仅收获了丰富的研究成果，也为后来的学生积累了更多的实验材料和研究经验。

由于生命科学的发展异常迅速，加之编写人员水平有限，难免有疏漏与错误，热诚欢迎读者批评指正。

最后，亲爱的同学们，祝你们实验愉快，在研究和观察中不断发现“新大陆”！

同济大学第二附属中学 钱君

2015 年 11 月于上海

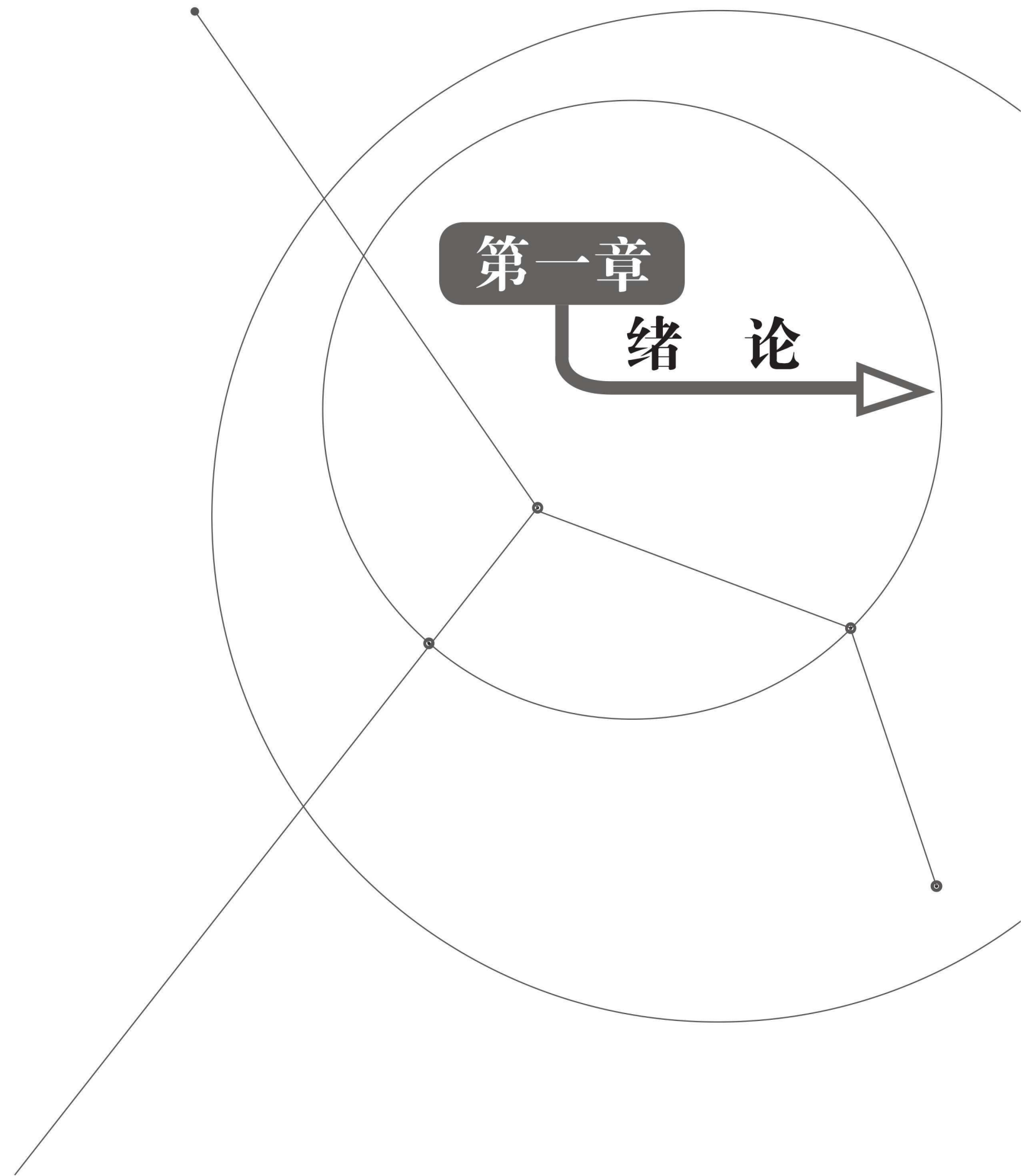
# 目 录

|     |                   |    |
|-----|-------------------|----|
| 第一章 | 绪论.....           | 1  |
| 1.1 | 基因是什么? .....      | 2  |
| 1.2 | 我们的基因从哪里来? .....  | 2  |
| 1.3 | 基因是怎么控制人体的? ..... | 3  |
| 第二章 | 基因的分类与特点.....     | 7  |
| 2.1 | 基因分类 .....        | 8  |
| 2.2 | 基因特点 .....        | 9  |
| 2.3 | 实践操作 .....        | 10 |
| 第三章 | 基因的表达与调控.....     | 15 |
| 3.1 | 基因表达 .....        | 16 |
| 3.2 | 基因表达调控 .....      | 18 |
| 3.3 | 实践操作 .....        | 18 |
| 第四章 | 基因的遗传与变异.....     | 23 |
| 4.1 | 遗传与变异 .....       | 24 |
| 4.2 | 遗传与变异的关系 .....    | 24 |
| 4.3 | 实践操作 .....        | 28 |
| 第五章 | 基因的修饰与改造.....     | 33 |
| 5.1 | 基因修饰 .....        | 34 |
| 5.2 | 基因改造 .....        | 34 |
| 5.3 | 实践操作 .....        | 35 |
| 第六章 | 基因的识别与检测.....     | 43 |
| 6.1 | 基因识别 .....        | 44 |
| 6.2 | 基因检测 .....        | 44 |
| 6.3 | 实践操作 .....        | 45 |
| 第七章 | 基因的应用领域.....      | 53 |
| 7.1 | 生产领域 .....        | 54 |
| 7.2 | 军事领域 .....        | 54 |
| 7.3 | 环境保护 .....        | 54 |
| 7.4 | 医疗方面 .....        | 54 |

|     |                           |     |
|-----|---------------------------|-----|
| 7.5 | 基因工程药物 .....              | 55  |
| 7.6 | 农作物培育 .....               | 56  |
| 7.7 | 基因与健康 .....               | 57  |
| 7.8 | 分子进化研究 .....              | 57  |
| 第八章 | 附录 .....                  | 59  |
| 8.1 | 生物学实验室安全须知 .....          | 60  |
| 8.2 | 生物学实验室通则 .....            | 63  |
| 8.3 | 常用仪器的基本使用方法和注意事项 .....    | 67  |
| 8.4 | 卡平方 ( $\chi^2$ ) 测验 ..... | 90  |
| 8.5 | 实验室常用数据 .....             | 93  |
| 8.6 | 研究案例 .....                | 105 |
|     | 参考资料 .....                | 133 |

# 第一章

## 绪论



## 第一章 绪论

### 1.1 基因是什么？

其实“基因”这个词是一个抽象的概念，是指遗传功能单位。最早提出基因这个概念的是丹麦科学家约翰逊，这是 1909 年的事。当时他是这样定义的：基因是用来表示任何一种生物中控制任何性状及其遗传规律的遗传因子。说得通俗些，生物的高矮、花色、籽粒大小、动物的颜色、毛色等都是由基因控制的。

到了 1910 年，美国杰出的遗传学家摩尔根在研究果蝇的遗传现象时，发现基因会发生突变。本来是白色复眼的果蝇，在它的后代中突然出现红色复眼果蝇。究其原因，是控制白色复眼这一性状的基因发生变化，变成控制红色复眼性状了。摩尔根认定，基因还是突变单位。同时这告诉人们，改变基因，就有可能得到新的性状，培育出新的生物种。这就进一步说明了基因的确是遗传功能的基本单位。

在很长一段时间内，虽然知道基因是怎么回事，但它是什么具体的物质，却并不清楚。直到 1944 年，才明确 DNA 是遗传即基因的物质基础。DNA 有 4 种核苷酸构成，4 种核苷酸固定配对形成密码。它们就是一切生物所以会遗传的密码。

### 1.2 我们的基因从哪里来？

#### 1.2.1 我们的基因来自父母

刚才我们说到 DNA 是基因的物质基础，DNA 是长长的链，在一个小小的细胞里 DNA 链就有两米长，所以 DNA 必须紧密地叠加缠绕在一起才能放得下。DNA 紧密缠绕在一起就形成了染色体。人体细胞里有 23 对这样的染色体。其中 22 对叫常染色体，男的女的都没什么区别。另一对叫性染色体，男的由 XY 组成，女的由 XX 组成。

我们都知道，人是从受精卵发育成的，受精卵是父亲的精子和母亲的卵子组成的。父亲的精子里带有 23 条染色体，请大家注意，是 23 条，不是 23 对。也就是说，精子里只有父亲一半的遗传基因。这时由于父亲的精子在形成前经过了一个叫做减数分裂的过程，一个细胞分列成了两个精子，分裂过程中，染色体数目减少了一半。母亲的卵子里也是 23 条染色体。这样，受精卵里面就有 46 条，23 对染色体了。所以，我们的基因是从父亲母亲那里来的，他们各提

供了一半的基因（如图 1-1 所示）。

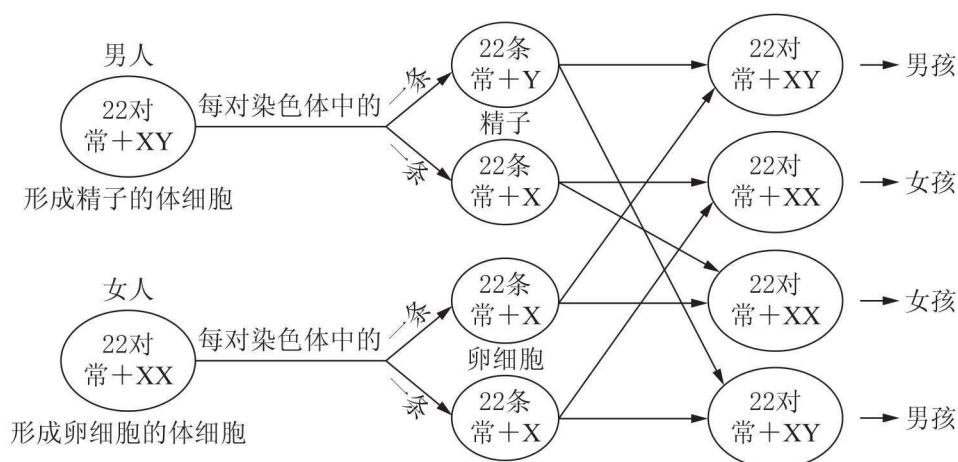


图 1-1 人类的遗传

## 1.2.2 人类的基因来自自然

大家都知道，人是从类人猿进化来的，那么类人猿又是如何进化来的呢？追根溯源，人类像地球上其他物种一样，从低等生物经过一万年的进化演变而来，所以，我们的基因是大自然赐予的。从这个层面上来说，其实我们和大猩猩还真算得上是表亲，就连老鼠基因组和人类基因组的区别也不到 1%。不过别紧张，你床底下的老鼠不会在明天早上就和你认亲，你这 1% 的优势可是经过上亿年的进化来的呢。

达尔文的进化论认为物种在进化过程中会遵循优胜劣汰的法则，的确如此，我们的基因在进化过程中得到了优化，许多不利的基因被淘汰了。那么为什么我们仍然还带着一些“坏基因”呢？

其实，这个优胜劣汰的过程是我们的基因对外界环境逐渐适应的过程，实在无法适应环境的基因会被淘汰掉。所谓的淘汰也是要经过许多世代的繁衍才能完成的。我们人类繁衍一代少说也要 20 年的时间，一个世纪的时间才 5 代人。可是，20 世纪以来随着科技、工业、经济的发展，人类，尤其是生活在城市里的人们的生活环境有了极大的变化，而这种变化还在以更快的速度发展。基因的优化过程怎么能赶得上环境这么大这么快的变化呢？

## 1.3 基因是怎么控制人体的？

### 1.3.1 从一个细胞长成的人

前面我们提到过一种细胞分裂的形式——减数分裂，这是人体产生生殖细胞的过程，所谓

减数，就是分裂后的细胞中染色体的数量减少到了一半。我们的细胞进行得更多的是一种叫做“有丝分裂”的分裂方式，这种分裂方式能保证分裂后的细胞中的染色体数量和分裂前完全一致，有丝分裂的过程是从我们还是受精卵的时候就开始了。

受精卵经过有丝分裂一分为二，二分为四……这样持续不断的分裂，一个细胞变成了许许多多的细胞。在细胞数量增加的同时，另一个叫做“细胞分化”的过程也同步进行着。我们假设人体是一个军队，细胞数量增加就像是通过招兵买马让军队迅速壮大起来。但是，一支军队必须有不同的分工才能作战，因此，这队人马被分成侦察兵、工兵、炊事兵等等，这个过程就是“细胞分化”。我们每个人身上有着数十亿个细胞，虽然都来自同一个受精卵细胞，但各自的形态、功能都有所不同。有的细胞圆圆的像个盘子，随着血液流动，把氧气送到身体的各个部位，并将二氧化碳从那里带走，这就是红细胞；有的细胞长得像梭子，一收缩就能引起骨骼的运动，这是肌肉细胞；有一类细胞样子很不规则，有的长有的短，表面有像触角一样的东西，甚至还有许多的分支，别看它们丑陋，我们的身体要依靠它们进行协调，因为它们是神经细胞。

人体虽然有数十亿个细胞，但是这些具有不同功能的细胞不是混乱的堆在身体里的。就像军队里有营、连、排的结构一样，身体也有很明确的结构划分。功能近似的细胞在一起组成“组织”，几个组织在一起组成一个“器官”，多个器官在一起又组成了“系统”。整个人体就是由十一大系统组成的。正常情况下所有的这些组织、器官、系统，都有着各自的功能和分工，谁也不会做不该做的事情，谁也不会抢占别人的地盘。

刚才我们说过，细胞进行有丝分裂以后，新细胞和老细胞的染色体没有改变，也就是说，不管一个受精卵发育成一个成人需要进行多少次的有丝分裂，这个成人的每一个细胞中的染色体和当初的受精卵是一样的。换句话说，受精卵当中从父母亲那里来的基因，被完完全全地复制到我们身体的每一个细胞当中了。

大家是否想过，细胞经过有丝分裂过程，一个细胞变成两个细胞，新细胞中的染色体数量应该是老细胞的一半才对呀，为什么会保持不变呢？其实，在老细胞进行分裂之前，组成染色体的DNA进行了一次自我复制的过程，使老细胞中的染色体数量变成了原来的两倍，分裂过程中染色体被平均分配到新细胞当中，这样，新细胞的染色体数量就和老的一样了。

### 1.3.2 基因—蛋白质—功能

现在我们要解释基因是如何控制人体的了，这是大家都非常感兴趣的问题。事实上，基因只是一个“幕后策划者”，在人体的构成和生长发育中真正起作用的是蛋白质。

蛋白质有很多种，在人体中的作用主要可以分成两大类。一类是我们身体的建筑材料，一

个体重 100 斤的人身体里面起码有 45 斤是蛋白质。它组成了我们的肌肉、皮肤、内脏，甚至毛发。这些蛋白质有的柔软、有的坚韧、有的还可以运动，可以说是变化多端。还有一类蛋白质叫作酶，以前也有人叫它“酵素”。酶的作用可大了，我们身体正常的生长发育必须依赖各种酶的正常工作，酶又是很脆弱的，当人体发高烧到 42 度以上时很多酶就会失去作用，这样，就有生命危险了。另外，参与生长调节的激素，参与免疫反应的一些大分子，主要也都是蛋白质。可以说，没有蛋白质就没有生命。

那么为什么说基因是“幕后策划者”呢？

蛋白质是由氨基酸构成的，氨基酸中共有 20 种，无论哪一种蛋白质分子，都是由 20 种氨基酸排列组成，只是不同的蛋白质分子氨基酸的排列顺序不同。氨基酸的排列顺序是由组成基因的碱基顺序决定的。还记得碱基有哪几种吗？对了，一共有四种：A、T、G、C。科学家们经过研究还发现，氨基酸本身也是由碱基决定的。3 个碱基可以组成一个密码来决定一种氨基酸。

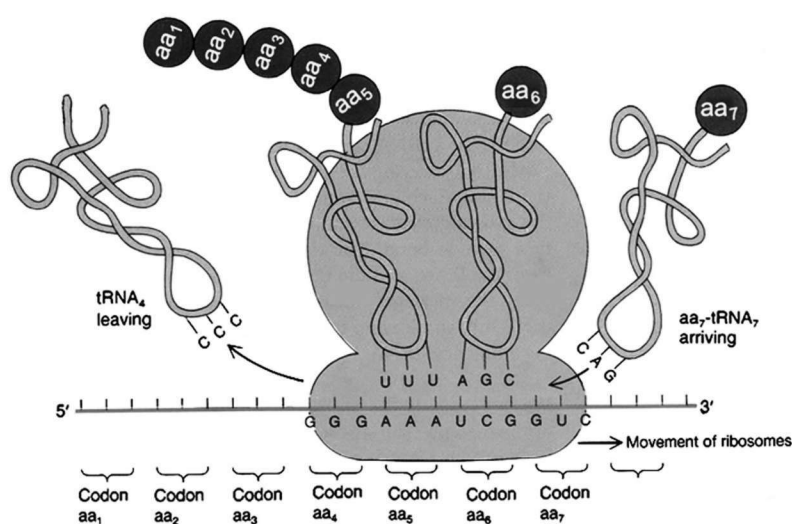


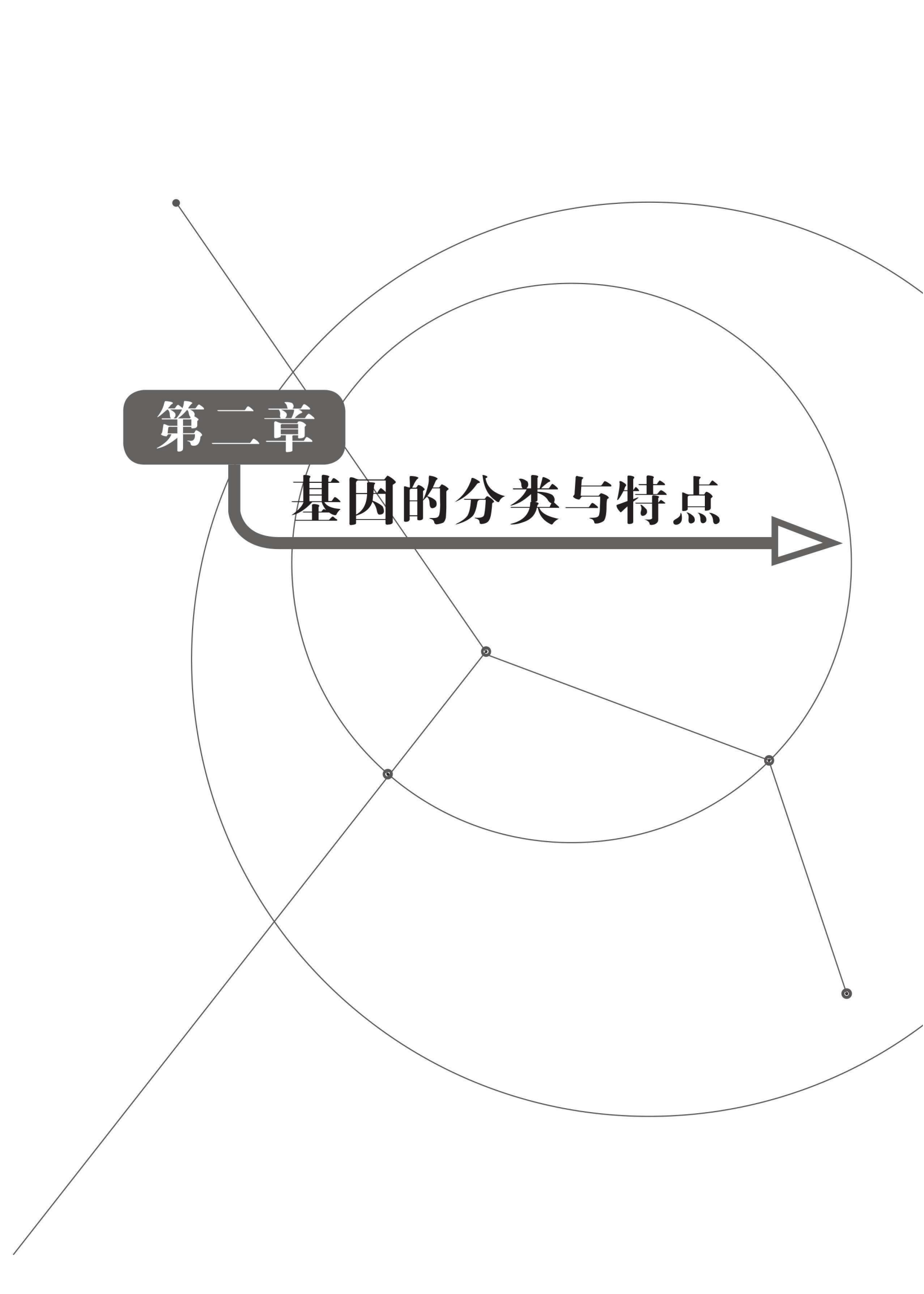
图 1-2 蛋白质合成示意图

在小小的细胞里面有一个细胞核，带有遗传信息的 DNA 就住在细胞核里。而核的外面是细胞质，蛋白质是在细胞质里生产的。DNA 个头太大了，不能跑到细胞质里去的，那么，是谁把 DNA 上面的遗传信息带到细胞质里了呢？原来，还有一类叫做 RNA 的核酸分子在起这样的作用（如图 1-2 所示）。

RNA 也是由四种碱基组成的，和 DNA 不同的是，RNA 的碱基中没有 T，而是用 U 代替了。RNA 又可以分成三种，一种叫信使 RNA，负责把 DNA 上面的遗传信息“复制”下来，并带出细胞核；一种叫做转运 RNA，负责把组成蛋白质的原料“转运”过来；还有一种叫核糖体 RNA，提供了组成蛋白质的工作场地。整个过程当有一个非常非常重要的原则叫做“碱基配对

原则”，DNA 和 RNA 上的碱基必须是 G 和 C 配对，U 和 A 配对，这样才能保证遗传信息精确无误地传递。

现在我们看看自己的细胞里，这些小家伙们是怎样繁忙地工作的：首先，细胞核里像油条一样的双螺旋 DNA 解开，成为两条单独的油条——DNA 单链，以其中一条链作为模板，按照碱基配对原则合成信使 RNA。这样，DNA 上的碱基顺序被记录在信使 RNA 的碱基顺序当中，使遗传信息得以传递。信使 RNA 被派到细胞质里面，与核糖体 RNA 结合，自己成了蛋白质合成的直接模板。转运 RNA 认识信使 RNA 上面的碱基顺序——遗传信息，同时也认识不同的氨基酸，它就充当了“翻译”的角色，在细胞里到处穿梭，把相应的氨基酸带到核糖体里面，使不同的氨基酸在信使 RNA 上面“对号入座”。众多的氨基酸手拉手连在一起，就组成了一个蛋白质分子。这样，DNA 上面所带的遗传信息就准确地反映在蛋白质的氨基酸顺序中了。换句话说，特定的遗传信息，合成了特定的蛋白质。基因通过参与合成蛋白质而参与了几几乎所有的生命活动。



## 第二章

# 基因的分类与特点

## 第二章 基因的分类与特点

### 2.1 基因分类

#### 2.1.1 结构基因：基因中编码 RNA 或蛋白质的碱基序列

(1) 原核生物结构基因：连续的，RNA 合成不需要剪接加工。

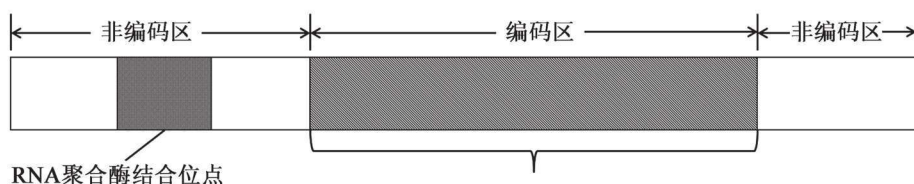


图 2-1 原核生物基因结构

(2) 真核生物结构基因：由外显子（编码序列）和内含子（非编码序列）两部分组成。

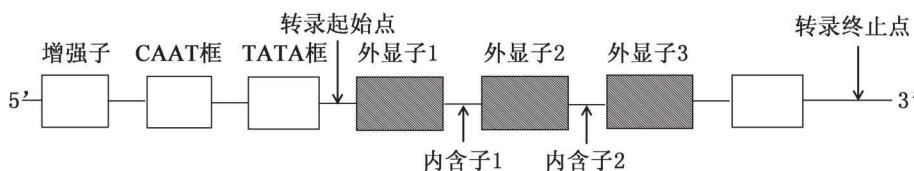


图 2-2 真核生物基因结构

#### 2.1.2 非结构基因：结构基因两侧的一段不编码的 DNA 片段（即侧翼序列），参与基因表达调控

(1) 顺式作用元件：能影响基因表达，但不编码 RNA 和蛋白质的 DNA 序列；其中包括：

启动子：RNA 聚合酶特异性识别结合和启动转录的 DNA 序列。有方向性，位于转录起始位点上游。

上游启动子元件：TATA 盒上游的一些特定 DNA 序列，反式作用因子可与这些元件结合，调控基因的转录效率。

反应元件：与被激活的信息分子受体结合，并能调控基因表达的特异 DNA 序列。

增强子：与反式作用因子结合，增强转录活性，在基因任意位置都有效，无方向性。

沉默子：基因表达负调控元件，与反式作用因子结合，抑制转录活性。

Poly (A) 加尾信号：结构基因末端保守的 AATAAA 顺序及下游 GT 或 T 富含区，被多

聚腺苷酸化特异因子识别，在 mRNA 3' 端加约 200 个 A。

(2) 反式作用因子：能识别和结合特定的顺式作用元件，并影响基因转录的一类蛋白质或 RNA。

## 2.2 基因特点

基因有两个特点，一是能忠实地复制自己，以保持生物的基本特征；二是在繁衍后代上，基因能够“突变”和变异，当受精卵或母体受到环境或遗传的影响，后代的基因组会发生有害缺陷或突变。绝大多数产生疾病，在特定的环境下有的会发生遗传，也称遗传病。在正常的条件下，生命会在遗传的基础上发生变异，这些变异是正常的变异。

含特定遗传信息的核苷酸序列，是遗传物质的最小功能单位。除某些病毒的基因由核糖核酸（RNA）构成以外，多数生物的基因由脱氧核糖核酸（DNA）构成，并在染色体上作线状排列。基因一词通常指染色体基因。在真核生物中，由于染色体在细胞核内，所以又称为核基因。位于线粒体和叶绿体等细胞器中的基因则称为染色体外基因、核外基因或细胞质基因，也可以分别称为线粒体基因、质粒和叶绿体基因。

在通常的二倍体的细胞或个体中，能维持配子或配子体正常功能的最低数目的一套染色体称为染色体组或基因组，一个基因组中包含一整套基因。相应的全部细胞质基因构成一个细胞质基因组，其中包括线粒体基因组和叶绿体基因组等。原核生物的基因组是一个单纯的 DNA 或 RNA 分子，因此又称为基因带，通常也称为它的染色体。

基因在染色体上的位置称为座位，每个基因都有自己特定的座位。在同源染色体上占据相同座位的不同形态的基因都称为等位基因。在自然群体中往往有一种占多数的（因此常被视为正常的）等位基因，称为野生型基因；同一座位上的其他等位基因一般都直接或间接地由野生型基因通过突变产生，相对于野生型基因，称它们为突变型基因。在二倍体的细胞或个体内有两个同源染色体，所以每一个座位上有两个等位基因。如果这两个等位基因是相同的，那么就这个基因座位来讲，这种细胞或个体称为纯合体；如果这两个等位基因是不同的，就称为杂合体。在杂合体中，两个不同的等位基因往往只表现一个基因的性状，这个基因称为显性基因，另一个基因则称为隐性基因。在二倍体的生物群体中等位基因往往不止两个，两个以上的等位基因称为复等位基因。不过有一部分早期认为是属于复等位基因的基因，实际上并不是真正的等位，而是在功能上密切相关、在位置上又邻接的几个基因，所以把它们另称为拟等位基因。某些表型效应差异极少的复等位基因的存在很容易被忽视，通过特殊的遗传学分析可以分辨出存在于野生群体中的几个等位基因。这种从性状上难以区分的复等位基因称为同等位基因。许多编码同工酶的基因也是同等位基因。