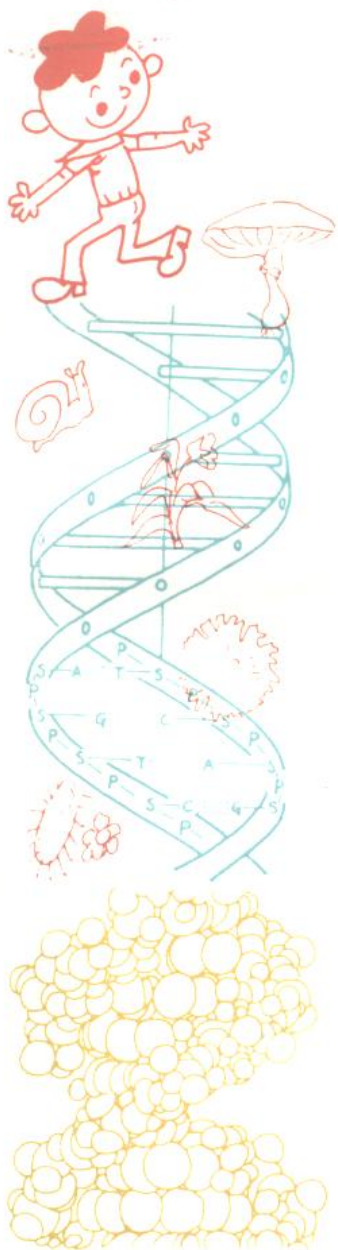


生物学基础知识丛书

姚连生 郑仲承 编著

核酸与生命



科学出版社

核 酸 与 生 命

姚连生 郑仲承 编著

科 学 出 版 社

1 9 8 5

内 容 简 介

本书介绍了核酸的基础知识，核酸与生命活动的关系，对于在研究核酸结构和功能的基础上所发展起来的基因工程、基因调控等内容，书中也作了深入浅出的阐述。

全书文字通俗易懂，可供有高中文化程度的广大读者以及中专和大专院校生物、医、农专业师生阅读。

核 酸 与 生 命

姚连生 郑仲承 编著

责任编辑 高小琪

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1985年10月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1985年10月第一次印刷 印张：4 1/2

印数：0001—5,600 字数：98,000

统一书号：13031·3008

本社书号：4349·13—10

定价：0.85 元

序

勤劳勇敢的祖国各族人民，正怀着热切的心情和必胜的信念，团结在中国共产党的周围，为加速实现四个现代化而进行新的长征。在这个极不平凡的历史新时期，大力提高整个中华民族的科学文化水平具有重大的现实意义和深远的历史意义，是当前全党和全国人民的紧迫任务。为此，科学出版社组织编辑了各种自然科学基础学科的普及丛书，《生物学基础知识丛书》就是其中之一。

生物学是研究生命的科学。这一门规模宏伟、内容丰富的自然科学，近二三十年来得到了蓬勃的发展，使得它的地位越来越突出。生物学的许多新成就已经或正在引起农业、医疗卫生、工业和国防建设发生巨大的变革。由于生物学与其它一些科学互相结合、互相渗透和互相促进，衍生出许多新的分支学科，并已深入到分子和量子水平，探讨生命现象的内在规律，证明生命活动的物质性。因而，不难预料，生物学将成为认识自然、改造世界、推动国民经济和人类健康事业的强大武器，将为整个人类社会的进步作出更大的贡献。

我相信，《生物学基础知识丛书》的出版将有利于生物科学知识的进一步普及和提高，将使更多同志掌握和利用生物科学，从而在自己工作中作出更大的贡献，也将有利于培育富有创造性的新一代生物学家。衷心希望这套丛书为加速实现祖国四个现代化增添应有的力量。

贝时璋

写在前面

一百多年前，科学家就发现了核酸，但是把核酸与生命联系起来，却是本世纪四十年代才开始的。提到生命，人们自然地会想到遗传现象。遗传是生命的基本特征之一，从古至今吸引着科学家们去探索研究，其间所走过的道路真可谓崎岖曲折。现在，再也没有人怀疑核酸是遗传物质了，核酸这类生物高分子在生物科学中的重要地位，可以用没有核酸就没有生命这句话来概括。由于分子生物学的发展和所取得的成就，其中包括核酸研究方面的贡献，目前我们已进入了一个能够按照人类意志来创造新物种的时代。

本书试图就核酸的基本知识，核酸与生命活动的关系，特别是在研究核酸结构功能的基础上所发展起来的基因工程、基因调控等问题作一科普性的介绍。由于核酸研究进展极快，所涉及的学科面很广，许多过去不了解的问题正在被认识，一些旧的概念也逐渐为一些新的发现所更新，所以本书内容难免挂一漏万。又因篇幅有限，诸如核酸的分离纯化、结构测定等技术也就不再列入。由于作者水平有限，书中错误在所难免，恳请读者批评指正。

本书在编写过程中得到刘望夷、袁士龙两同志的支持鼓励，书成后承盛祖嘉、沈仁权二位教授在百忙中审阅修改，张爱宝同志绘制草图，在此一并表示感谢。

姚连生 郑仲承

1983.12.

目 录

- 一、核酸的发现..... (1)
- 二、对遗传基本规律的认识..... (5)
- 三、核酸是遗传物质..... (15)
- 四、核酸的化学组成..... (23)
- 五、DNA 的双螺旋结构——沃森-克里克模
型..... (28)
- 六、DNA 的复制..... (33)
- 七、遗传密码..... (41)
- 八、分子水平的“拷贝”——转录..... (48)
- 九、蛋白质的生物合成..... (60)
- 十、核酸的人工合成..... (71)
- 十一、生气勃勃的基因工程..... (77)
- 十二、揭开生命之谜的关键一战——基因表达调节
控制的研究..... (109)

一、核酸的发现

核酸是生物所特有的重要的大分子物质，它在生命运动中的重要作用，愈来愈为人们所认识。可以毫不夸张地说，没有核酸就没有生命。事实上一切有生命的物体，不论是低级的细菌，乃至小到电子显微镜才能看到的病毒、类病毒，还是高级的哺乳动物，以至人类的全部生命现象，如物质代谢、性状遗传、细胞的分裂分化、繁殖等等，都是核酸积极参与活动的结果。可是你可知道这么重要的核酸是怎样发现的吗？下面就谈谈发现核酸的故事。

核酸最早是在1869年由瑞士的青年科学家米歇（Miescher）发现的。米歇的父亲是瑞士巴塞尔的开业医生，并在当地医学院执教。早年他随父亲学医。但对米歇事业有深远影响的是他的叔叔海斯（His）。海斯是一位著名的解剖学教授，他鼓励米歇学习组织化学。这在当时是一门时兴的边缘科学。海斯曾说：“通过对组织学的研究，使我坚信组织发育的根本问题最终是要在化学的基础上才能解决的。”在叔叔的鼓动下，米歇于1868年获得学位以后就去德国杜宾根大学学习有机化学，并在生物化学家霍佩赛勒（Hoppe-Seyler）的实验室里从事细胞化学组分的研究。要研究细胞的化学组分，首先要取得实验材料，从哪里得到大量的细胞呢？米歇想起了外科手术绷带。绷带上有又脏又臭的脓液，看起来不大可能作为细胞化学组分的研究材料。但有着医学基础知识的米歇，认为脓液中的白血球就是一种动物细胞，是理想的实验材料，并且绷带来源丰富，很容易从当地外科诊

所取得。为了得到这些细胞，他用盐水把脓细胞从绷带上洗下来，结果发现这些细胞聚集并膨胀成一种明胶状的东西。但如果用稀的硫酸钠溶液洗涤绷带，则细胞可保持完好，并且很快沉降下来，从而与脓液中的血清及其他物质分开，于是米歇就得到了许多白血球。

米歇根据当时研究细胞化学组成的一般方法，用稀的碱溶液来抽提脓细胞，他发现在这种抽提液中加入酸，便有沉淀产生；再加碱，沉淀又重新溶解。他根据这些观察，以及当时所了解的组织化学知识，认为这种被碱所抽提的物质是属于细胞核的，因此他要设法把细胞核分离出来。虽然早在1831年细胞学家已经确定了细胞中存在着细胞核，但第一个想要分离细胞核的人恐怕就是米歇了。

米歇分离细胞核的方法是用酸去溶解细胞的大部分物质而留下不溶的细胞核。当他在显微镜下检查他分离到的细胞核时，发现还有一些杂质，他认为这是一些细胞的蛋白质。为了获得“纯净”的细胞核，他在稀酸溶液中加入胃蛋白酶（实际上，当时这只是一只胃粘膜的酸抽提物），这样制备出来的细胞核有一些皱缩，但纯度高多了，可以满足他做化学研究的要求。接着米歇用稀碱来抽提这种分离出来的细胞核，获得了一种前所未有的化合物。通过化学元素分析以及其他性质的测定，发现这物质的磷含量很高（2.5%）。与当时已知的含磷物质加以比较后，他认为这是一种新的特殊的物质，把它命名为“核素”（nuclein）。这时米歇才只有25岁。

当兴高采烈的米歇把他的发现报告给他的导师霍佩赛勒时，霍佩赛勒对此颇感惊异，但是没有表态。直到米歇结束工作准备离开他的实验室的时候，霍佩赛勒才承认米歇发现了一种新的物质。然而出于谨慎，在米歇离开以后，霍佩赛

勒怀着极大的兴趣重复了制备核素的实验。直到他自己感到满意之后，才于1871年在他主编的杂志上发表了米歇的论文。霍佩赛勒对待科学的严谨态度是我们值得称颂的。

米歇离开霍佩赛勒实验室以后，回到巴塞尔继续他的核素研究。他把核素的工作扩展到其他的细胞。其中最精细的研究是分析鲑鱼精子的核素和其他组分。他奔走在故乡莱茵河畔的渔场上。每逢鲑鱼产卵季节，他就可获得大量成熟的精子。鲑鱼精子的细胞核占细胞总量的90%左右，比起脓细胞来，它是一个更理想的研究材料。米歇充分利用这一有利条件，夜以继日地勤快工作，在很短的时间内取得了大量成果。他在低温下用盐处理新鲜的精子，获得了块状的胶体，显然，这是一种长线形核酸分子的多聚物。虽然当时米歇并没有意识到天然状态的核酸分子结构对其性质的重要性，但在工作中他获得了“核素”是由大分子所组成的概念，并认识到核素是酸性的，含有许多由磷酸产生的酸性基团。同时他还发现了这种细胞核中有一种简单的碱性蛋白，定名为鱼精蛋白。他认为精子细胞核中的核素与鱼精蛋白结合成一种不溶性的盐。可是他用鲤鱼、牛等其他种族的精子做材料时，没有找到这种鱼精蛋白。因此，他失望地写信给海斯说：“鲑鱼精子中的鱼精蛋白只不过是一个可怜的特例。”后来生物化学家柯斯尔（Kossel）在其他细胞核中发现了组蛋白，并证明它是一种类似于鱼精蛋白的碱性蛋白质。今天我们已经知道，组蛋白是所有动植物细胞核中的主要成分之一。

1889年，即米歇第一次制备出核素以后20年，生物化学家奥尔特曼（Altmann）根据他对酵母和其他动物细胞的研究，首先引入“核酸”这一名词。顾名思义，这是指细胞核中抽提出来的酸性物质。因为阿尔脱曼所描述的“核酸”，与

米歇的“核素”非常相象，所以米歇承认它们是相同的物质。他并不反对这新名词，因为他已经知道核素是一种“酸”。从此以后，核酸就成了许多生物学家和化学家感兴趣和研究的对象。可是当时又有谁知道米歇这个年青人的发现竟开创了一个崭新的科学领域，使人类取得了解开生命之谜的金钥匙呢？当时又有谁能预言这个不起眼的发现竟会引起生命科学研究的一场大革命呢？

二、对遗传基本规律的认识

当瑞士的青年人米歇专心致志地研究并发现核酸的同时，在毗邻的奥地利也有一个中年人正埋头于遗传学的研究。尽管这两人素昧平生，但他们分别从不同的方面，用不同的手段在探索着生命的奥秘。这个人就是创立了经典遗传学的孟德尔（Mendel）。

我们知道，生命现象最主要的特征之一是遗传性，就是说各种生物都能世代地繁衍，并保持其基本特征。种瓜得瓜，种豆得豆，就是对遗传性最通俗的解释。但是为什么会有这种属性呢？它有没有规律可循呢？许多人百思不得其解。于是有人求助于宗教，求助于上帝和神。有的人则陷入不可知论的绝境。显然，不了解遗传的规律性，我们也就无法对生命本质有进一步认识。

对于遗传现象作系统的科学研究是从十九世纪开始的。当时许多著名的生物学家都对遗传变异的现象有过各种假设。可是他们都不能发现遗传的基本规律。最初发现遗传基本规律的是孟德尔。孟德尔是奥地利西里西亚人，他出生在一个农民的家庭，本人是布尔诺的奥古斯特修道院的修道士，布尔诺在现在捷克的巴那地区。说起来也真有意思，孟德尔虽是一个神职人员，但他却自幼酷爱科学，喜欢观察生物，熟悉数学，对气象、地质也很有研究。他用植物、昆虫、动物做了很多杂交试验。他最杰出的工作是豌豆杂交实验，他对实验结果作了仔细的观察和认真的分析，终于发现了两个著名的遗传基本规律。他的研究论文《植物的杂交试验》于

1866年发表在当地科学协会的会刊上。可惜他的发现未为当时学术界所重视。

孟德尔选择豌豆作遗传实验材料不是偶然的。因为豌豆有着两个适合于遗传实验的优点，其一是它的性状具有明显的差异。譬如成熟的种子有圆的或皱的；子叶的颜色有黄色的或绿色的等等。孟德尔选择了七对明显不同的性状（特征），观察它们从亲代传递到子代的情况（表2-1，图2-1）。

表2-1 孟德尔选择的七对豌豆遗传性状

观察内容	相对性状
1. 种子形状	圆的或皱的
2. 子叶颜色	黄色或绿色
3. 种皮颜色	灰色或白色
4. 成熟豆荚的形状	饱满的或不饱满的
5. 未成熟豆荚的颜色	绿色或黄色
6. 花的位置	叶腋的或顶端的
7. 植株高度	高的（6-7英尺）或矮的（1英尺左右）

豌豆的另一个优点是自花授粉。就是说它的花是由雄蕊和雌蕊所构成。两种性细胞在同一个繁殖器官中产生。这就保证了这种植物能够纯种传代。他开始选用种子是圆的和皱皮的这一对性状的纯种豌豆进行杂交试验。他把产生皱皮种子的植株上的每一朵花的雄蕊摘去，留下雌蕊，然后用从圆

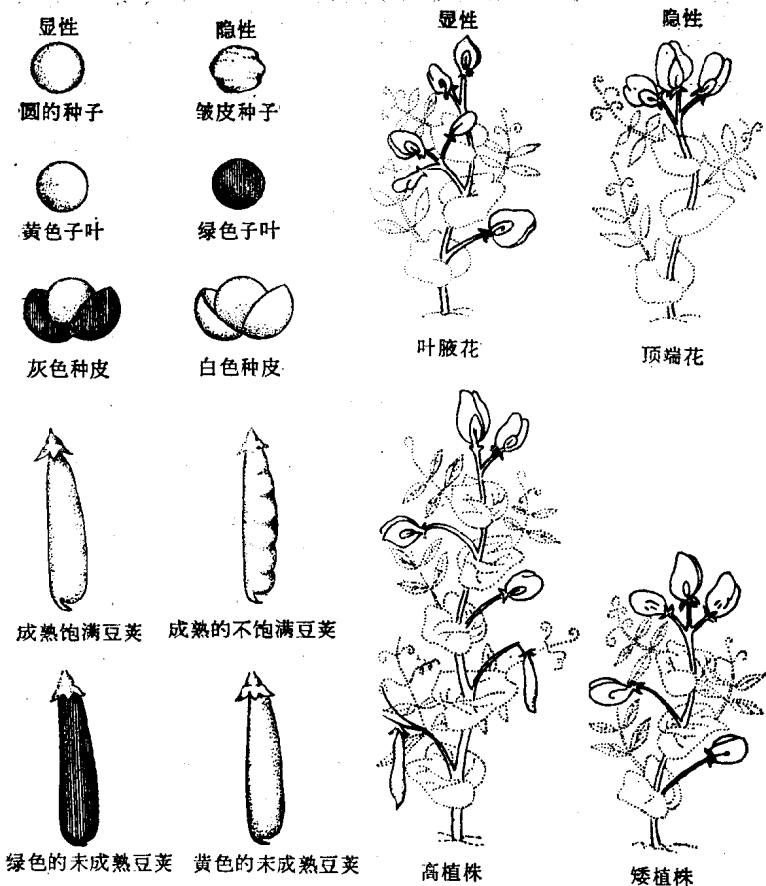


图 2-1 孟德尔早期遗传实验选择的七对豌豆特征

形种子的植株上取来的花粉去授精。孟德尔为两株豌豆作完媒以后，把每一朵花用小纸袋套起来，以防风媒或虫媒的花粉去污染这种人工授精的植株。当种子成熟的时候，他打开豆荚惊奇地发现全部种子都是圆的，皱皮的性状在这杂种第一代（称子一代，用符号 F_1 表示）中似乎是消失了。孟德

尔把这种 F_1 的豌豆种子进行自花授粉，得到的子代（称子二代，用 F_2 表示）中皱皮的种子又出现了，出现的粒数约占总粒数的25%。孟德尔花了八年时间，对表2-1中列出的七对遗传性状都作了类似的试验，结果列在表2-2中。

表 2-2 孟德尔选定的七对豌豆遗传性状杂交试验的结果

亲代性状	F_1	F_2	F_2 性状的比例
1. 圆种子 × 皱皮种子	全部圆种	5474圆种 : 1850皱皮种	2.96 : 1
2. 黄色子叶 × 绿色子叶	全部黄色	6022黄色 : 2001绿色	3.01 : 1
3. 灰色种皮 × 白色种皮	全部灰色	705灰色 : 224白色	3.15 : 1
4. 饱满豆荚 × 不饱满豆荚	全部饱满豆荚	882饱满豆荚 : 299不饱满豆荚	2.95 : 1
5. 绿色豆荚 × 黄色豆荚	全部绿色	428绿色 : 152黄色	2.82 : 1
6. 叶腋花 × 顶端花	全部叶腋花	651叶腋花 : 207顶端花	3.14 : 1
7. 高植株 × 矮植株	全部高植株	787高植株 : 227矮植株	2.84 : 1

从表2-2我们可以看到孟德尔研究的七对性状具有相同的规律，即纯种的黄色种子的豌豆与纯种绿色种子的豌豆杂交所产生的 F_1 全是黄色种子，在 F_2 则又出现了占25%左右的绿色种子，等等。据此，孟德尔把在全部 F_1 中出现的和在 F_2 中出现75%的性状称为显性性状，而把在 F_1 中消失的、在 F_2 中只重新出现的25%性状称为隐性性状。

孟德尔在解释他的实验结果时，提出遗传性状从亲代传递到子代是通过独立的遗传因子来实现的，这种因子被叫作孟德尔因子。他用大写字母表示显性因子，小写字母表

示隐性因子，例如圆种子的因子记为A，皱皮种子的因子记为a。在每一个生物体的体细胞中，这种因子都是成对存在，只有在繁殖时，一对因子分开，每一个性细胞中只带一对因子中的一个，这样当两个亲代都提供一个A给子代时，子代就是AA，而它们只产生圆的种子；在aa的植物中它们从每一个亲代得到一个a，只产生皱皮的种子。因此纯种传代的植物，或者是AA（圆种子）或者是aa（皱皮种子），当这两种纯种豌豆进行杂交时，会得到什么样的结果呢？显然F₁从一个亲体接受一个A，从另一个亲体接受一个a，这样全部F₁必然是与圆的和皱皮的一对性状有关的Aa，因为A对a是显性的，F₁的全部种子将是圆的，皱皮的性状好象“消失”了，这就是孟德尔的杂交实验在子一代中看到的情况。实际上，隐性因子并没有消失，它的作用由于A因子的存在而被掩盖起来了。在以后的杂交中，a的作用可重新表现出来。

让F₁杂种自交，我们再来观察它的后代F₂，会得到什么样的结果呢？由于这时全部亲本都是Aa，所以对于它们的子代将提供等量的A和a，这样就会得到三种不同的子代：AA、aa和Aa，为了便于记忆，并列出来这些因子结合的全部可能性，我们可以用列表的办法来推测杂交产生子代的性状。将一个亲本提供的因子列在表的顶部，另一个亲本提供的因子列在表的左侧，这样，方格内就表示子代的遗传因子组成（表2-3）。请注意表中Aa出现2次，说明在4个F₂中有2个是Aa，这就是说在F₂中有50%是Aa，25%是AA或aa，由于Aa和AA个体都具有显性性状，因此F₂的豌豆圆种子要占75%，而皱皮种子占25%，这种3：1的比例与孟德尔的实验在F₂中观察到的结果非常一致。从这些实验证明决定生物遗传性状的孟德尔因子在体细胞中是成对存在的，这种成对的遗传因子可以是纯合的（如AA和aa），也可以

表2-3 杂种第二代遗传因子的预测

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

是杂合的（如Aa）。但在繁殖时，成对的因子发生了分离，随机地分配到两个生殖细胞中去，这就是孟德尔分离定律。

那么有两对以上不同性状的植物杂交后会产生什么样的后代呢？孟德尔把圆的种子、黄色子叶（二者都是显性，简称圆黄）的豌豆与皱皮的种子、绿色子叶（二者都是隐性，简称皱绿）的豌豆杂交，得到的F₁都是圆黄种子，然后他让F₁自交，假如孟德尔因子确实存在，并且这些性状是由独立的遗传因子所决定的，那末就会在F₂中得到四类种子：圆黄、皱黄、圆绿、皱绿，并且预计它们的比例是9：3：3：1，孟德尔实验的结果完全与他预期的一样（图2-2）。这就说明生物的遗传因子在繁殖遗传给后代时，首先是各自分离，然后是随机地自由组合，于是产生各种不同的后代，这就是孟德尔的遗传因子自由组合定律。

孟德尔发现的遗传因子分离和自由组合的遗传基本规律，不仅在植物中而且在动物实验中都经受了考验。他的实验结果后来都得到科学家们的千百次重复。人们不禁赞叹孟德尔对待科学实验的严谨态度和观察现象的细致入微。不幸孟德尔的论文在发表的当时，并没有引起人们的注意，由于受当时科学技术水平的局限，孟德尔提出的遗传因子被认为

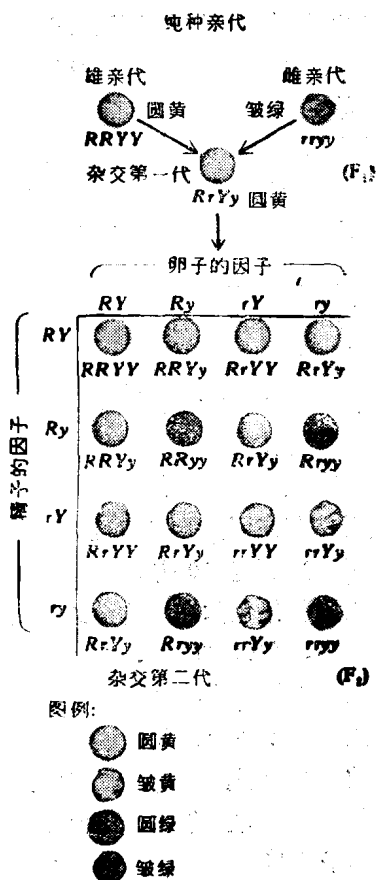


图2-2 豌豆的两对遗传性状（圆黄与皱绿）的杂交结果

是神秘莫测的东西，不能被人们所接受。直到35年后的1900年，即孟德尔去世后16年，有三位植物学家，荷兰的德弗里斯 (de Vries)、法国的科伦斯 (Correns) 与奥地利的奇尔马克 (Tschermak) 相继在发表他们的植物杂交研究论文时，发现了孟德尔的工作与他们的结果不谋而合，这