

# 电子图书



信息技术的结晶

人类文明的载体

网络的基本资源

## 奇异的生物工程

## 第一章 遗传规律的发现

### 一、从三头怪兽和“童鱼”说起

《封神演义》和《西游记》是我国童叟皆知的神话故事。在这两部书中，三头六臂的哪吒以他那与众不同的长相和盖世武功降妖伏魔，他跟随姜子牙，扶助李天王曾立下赫赫战功。无独有偶，我国古代神话中也曾有过集狮、蛇、山羊三类动物的头于一身的三头怪兽，这种怪兽有何独特功能，至今不得而知。但不管是哪吒还是三头怪兽，都是神话。虚构的神话除反映人们对自然现象的恐惧外，同时也反映着人们战胜邪恶的良好愿望和改造自然的美好向往。

哪吒也好，三头怪兽也好，谁都没有亲眼见过，而说到“童鱼”，这倒是确实实的人造奇迹。本世纪70年代，我国著名诗人曾为“童鱼”题诗写照。这位诗人就是赵朴初，当赵老见到一幅幅怪模怪样的“金鱼”图后，兴趣倍增，诗兴盎然，欣然命笔，写下了如下诗句：

异种何来首尾殊，画师笑答是童鱼。

他年破壁飞腾去，驱遣风雷不怪渠。

诗人所指首尾殊的异种就是童第周教授亲手创造的一种新生物——童鱼。

童第周，我国杰出的生物学家，他出生于1902年，故乡是浙江鄞县一个名叫童家坳的山村，父亲是山村里的一位私塾先生，家里本来就很清贫，而童第周又是父亲的第七个孩子，家里的生活就更加拮据了。但是，童第周渴望上学读书，得到哥哥的帮助，经过刻苦的自学，直接跳班考上了效实中学的三年级插班生，因为没有打好基础，一开始成绩是全班倒数第一，可到期末考试的时候，他的成绩一下子跃进到全班正数第一，受到学校老师和同学们的称赞，毕业后，他又接着考上了上海复旦大学学习哲学心理学。

然而在那个时代，大学毕业以后面临的就失业。经过几番周折，童第周终于得到一个机会，到比利时留学。他在那里的比京大学改学生物学，在生物实验室里工作得十分出色。1933年，他从比利时回到中国，在山东大学生物系任教。新中国建立以后，童第周又被调到中国科学院动物研究所，专门研究生物的发育和遗传。他为探索生命奥秘，呕心沥血。他信奉真理，不畏艰险，不辞辛劳。他所创造的“童鱼”，举世瞩目。“童鱼”的出现，为人工创造新的生物开辟了更广阔的领域。

20世纪70年代初期，新中国还处于“史无前例”的动乱时期，科学园地一片死寂。在北京中国科学院的动物研究所内，大字报铺天盖地，像童第周这样的专家被打成了反动学术权威。在众多科学家朝不保夕的艰难岁月里，细胞研究室内灯火通明，这里正在进行着人类创造新生命的革命，在这次伟大革命中，一位七十多岁的长者运筹帷幄，冲锋陷阵，他就是童第周。

天刚朦朦亮，童教授在啼鸟声起之前已赶到细胞研究室。研究室内的金鱼，好像善解人意似的，在童第周先生到来之前互相追逐嬉戏，而在童先生到达之后，雌鱼开始产卵。金鱼的卵是童教授“革命”的对象。他要从金鱼卵中取走细胞核，然后再把鲫鱼或其他鱼类的细胞核放进去。想用这样的实验来观察一下，被换了细胞核的金鱼卵细胞，会发育成什么形状的鱼。

要给金鱼卵进行“外科”手术是十分困难的，因为动物身上的细胞一般都很小，直径只有几十分之一毫米，当然细胞里的细胞核就更小了，大概只有几百分之一毫米。他借助显微镜和熟练的细胞学技术，先将金鱼卵细胞的细胞核取出来扔掉，又把鲤鱼胚细胞的细胞核小心地取出来，使它保持完整无损，然后再用给人打防疫针那样的方法，把取出来的鲤鱼胚细胞核，注射进已经被取出细胞核的金鱼卵细胞里去，让鲤鱼的胚细胞核在金鱼的卵细胞质里发育。

童第周为什么要把实验做得这么复杂呢？要知道，金鱼和鲤鱼亲缘关系相距很远，在分类学上分别属不同属的二个种。在外形上也明显不同，例如鲤鱼嘴角有须而金鱼无，侧线鳞片数目和脊椎骨的数目都有差异。让这两种鱼在自然情况下进行杂交是根本不可能的，只有用外科手术的方法，硬将鲤鱼胚胎细胞的细胞核移植到去掉了细胞核的金鱼卵细胞里，才能看出这样两种亲缘关系相距很远的鱼，被用外科手术的方法组合起来以后，会发生什么样的变化。

经过日复一日的精心培养，那些被重新组合的金鱼卵细胞终于发育成为一条条活泼的小鱼，它的模样很怪，嘴角长着鲤鱼的须，而它的脊椎骨数目和侧线鳞片数却又像金鱼，对于这种地球上从来没有出现过的怪鱼，既不能把它叫鲤鱼，也不能再叫做金鱼。它是童教授用卓越的生物学知识和高超的移植技艺创造出来的新物种，于是科学家都亲切地叫它“童鱼”。

童教授初战告捷。童鱼临世的辉煌成果震撼了全球，在那震耳欲聋的庆贺声中，创造新生命的导演——童弟周却镇定自若。他告诫全体同仁，“宜将剩勇追穷寇，不可沽名学霸王”。成绩仅仅是继续前进的起点。

童教授的第二步目标是什么呢？他要进一步搞清楚，究竟是哪些具体的物质在影响着新一代的生物性状，也就是说，在鱼的卵细胞里面，是哪些具体的物质，携带着遗传信息，使新一代的童鱼，照着鲤鱼的特点，长出了鲤鱼的须；照着金鱼的特点，长出了金鱼脊椎骨的数目和侧线鳞片数。

原来，在成熟的卵细胞质里，存在着一种能把遗传信息携带给新一代的物质，这种物质叫做信使核糖核酸（英文的表示方法是 mRNA）。童教授带着他的战斗集体，用化学的方法，把鲫鱼成熟卵细胞中细胞质里的 mRNA 提取出来，用它进一步进行生物遗传试验。

他们用注射针把鲫鱼的 mRNA 注射进金鱼的受精卵里，结果有 33.1% 的被注射的金鱼卵发育成了头尾相异的“童鱼”。这种鱼的头是典型的金鱼头，而尾部却由金鱼的双尾变成了鲫鱼的单尾。

更引人注目的是他们从两栖类的蝾螈内脏中，提取出一种叫去氧核糖核酸（DNA）的化学物质，把这种物质注射入金鱼的受精卵内，经过注射的金鱼受精卵，长出的金鱼中，有 1% 具有蝾螈的棒状平衡器，这种器官本来只有像蝾螈这样的两栖类才具有。当然，这种有棒状平衡器的金鱼也是童教授的杰作，也应该称作“童鱼”。

这样的“童鱼”是自然界所不存在的，它的诞生，为人类创造新生物带来了曙光。“童鱼”的出现，连它的创造者也并不认为是他个人的功劳。他认为，“童鱼”的问世是无数探索生命奥秘科学工作者的集体结晶。他只是带着有准备的头脑寻找到了幸运之神的代表而已。

在探索生命奥秘的长河中，开辟航向的应首推奥地利的僧侣格里高·孟德尔。

## 二、孟德尔在后花园里的研究

1822年出生于奥地利的孟德尔，童年、青年历尽苦难，在山穷水尽的困境下走进了布隆修道院，这位并非对上帝虔诚的小伙子，在修道院中倒也安于清贫，遵守院规。在那里，他与孤灯为伴，苦读四年“圣经注释”、“教会问答”等宗教专著，他的勤奋和才智赢得了该院最高权威那佩院长的欢心。他不仅将孟德尔提升为神父。而且送孟德尔到维也纳大学深造。从宗教殿堂进入科学大厅的孟德尔，立即对进化论、植物学、数、理、化等自然科学发生了浓厚的兴趣，在这座科学大厅里，他尽情地吸收着科学的营养，二年大学生活，转瞬即逝，当他再度进入修道院时，已对“圣经注释”等宗教界的宠论毫无兴趣，而生物你上代与下代间为什么能保持相同，又为什么同样的父母既会生下面目相像的子女，也会生下面目全非的子女等问题犹如空气那样成为他的“伴侣”。为了揭开这个千古之谜，他利用修道院后面的花园种上了豌豆，一年年种，一年年收，春去春又回，匆匆八载过去。在这八年中，他终于揭开了上代与下代“像”又“不像”这个千古之谜，为生物的遗传、变异奠定了科学基础。

孟德尔选用豌豆做遗传试验，是成功的关键之一。他看到，豌豆是闭花授粉的植物，由于长期的闭花授粉，保证了豌豆的纯洁性，也就是说，一个开红花的豌豆品种，后代也开红花，高杆的豌豆后代也绝对不会出现矮杆的……；他也看到豌豆中，红花与白花、高杆与矮杆、圆粒与皱粒……是那样泾渭分明。这些泾渭分明的一对一对的豌豆花色、粒形等称为相对性状。正是由于豌豆的遗传相对性状泾渭分明，而闭花授粉的特点，又使它们的遗传相对性状十分稳定，用具有这样特点的植物研究，很容易观察到受异种花粉影响的效果。

孟德尔还看到，豌豆虽然是闭花植物，但花形比较大，用人工的办法拔除豌豆花中的雄蕊，给雌花送上花粉是容易办到的。

孟德尔胸有成竹地开始了前人没有进行过的遗传实验。他一丝不苟地拔除了红花豌豆的雄花，送上白花豌豆的花粉，得到了杂种第一代（F<sub>1</sub>），第一代种子长出的豌豆开的是红花，让这第一代豌豆闭花授粉，得到了第二代种子，当第二代种子长出的植株开花时，除了四分之三的植株开红花外，还有四分之一的植株开的是白花。他把第一代出现的那个亲本的性状叫做显性性状，而未表现出来的那个亲本性状就叫做隐性性状。把第二代中两个亲本的性状同时出现的现象称为“分离现象”。真是无巧不成书，孟德尔在用豌豆做杂交试验时，仔细地观察了如下7对差别鲜明的性状：

- 花的颜色：红色与白色；
- 种子的形状：圆形和皱形；
- 子叶的颜色：黄色和绿色；
- 花着生的位置：腋生（即枝叉生）和顶生；
- 成熟豆荚的形状：饱满和缢缩；
- 植株的高矮：高和矮。

最初的试验是将上述单个性状上有明显差别的两种豌豆（亲本）杂交，上述7组相对性状分别做了7次杂交。7次杂交的结果具有惊人的一致性。那就是杂种一代都只出现一个亲本的性状，例如开红花的植株与开白花的植

株杂交，杂种一代总是清一色的红花；子叶是黄色的豌豆与子叶是绿色的豌豆杂交，子一代（F<sub>1</sub>）总是具有黄色子叶的性状等等，这种在杂种一代中只出现杂交双亲中一个亲本性状的现象在孟德尔观察的 7 对相对性状和杂交中，无一例外。此外，当杂种一代自花授粉时，得到了杂种二代种子。在 7 次杂交的杂种二代中，都出现了二个杂交亲本的性状，即都出现分离现象。更有趣的是杂种二代中，第一代出现过的那个亲本的性状（即显性性状）和第一代未出现的那个亲本的性状（即隐性性状）都为 3：1。

惊人的一致性中有什么内在联系呢？才思敏捷的孟德尔不失时机地把握契机，在掌握了足够的事实后提出了自己的设想。他认为，生物体表现出来的性质和形状，即简称“性状”不过是人们能够通过感觉器官感觉到的表面现象，而现象的重复出现必定反映着某种内在的本质。根据这样的推理，他假定决定性状的内在根据是遗传因子，他十分明确地指出，生物体的每个单位性状是由两个遗传因子决定的。因为同一个单位性状会有明显的差别，例如花色（单位性状）有红有白，所以决定同一个单位性状的遗传因子也会有两种形式，一种是决定显性性状的形式，另一种是决定隐性性状的形式，这好比同样反映一个人的照片和底片。当决定某一单位性状的两个因子完全一样时（如两张均为照片或两张都是底片），这种遗传因子的组合方式就叫纯结合，不言而喻，纯结合就会有显性纯结合和隐性纯结合两种形式了，实际上纯结合的意思就是人们平时说的纯种罢了。如果决定某个单位性状的两个遗传因子不是完全相同，而是相似，犹如一张底片和一张照片那样，那么，这种遗传因子的组合就叫杂结合或异质结合，也就是平时常说的杂种。

孟德尔在对决定性状的遗传因子作了具体说明后又明确指出，生物体在形成生殖细胞时，原来成对的遗传因子必然不能同时进入同一个生殖细胞（生殖细胞可以叫性细胞，雄性的生殖细胞叫精子或精细胞，雌性的生殖细胞叫卵子或卵细胞），因此，每个生殖细胞中只有一对遗传因子中的一个。当雌、雄生殖细胞（即卵和精子）结合（受精）时，遗传因子又随着两种生殖细胞的合二为一而恢复成对。

孟德尔在作出遗传因子决定性状的假设后，他立即意识到，决定某个单位性状的二个遗传因子（等位基因）在生物体形成生殖细胞时，各自分别进入不同的生殖细胞是杂种二代中显性性状和隐性性状出现 3：1 分离的内在原因。现在，“成对遗传因子（基因）在生物体形成生殖细胞时必然分离”已被称作遗传学第一定律，即分离定律。

为了说明遗传因子的分离及由此而出现的性状分离，不妨我们来进行一次特殊的扑克游戏。首先我们用扑克牌中的红桃 A 代表红花因子，用黑桃 A 代表白花因子。现在甲、乙两人手中分别有两张红桃 A 和黑桃 A。游戏按每人每次出一张牌的规则进行，可想而知，一次游戏结束，每人手中仍是两张 A，但此时每人手中已各有一张红桃 A 和黑桃 A。按照游戏的另一条规定，凡是红的和黑的在一起时，红的总放在黑的上面，这样一来，虽然每人手中各有一张红桃 A 和黑桃 A，实际上看到的是每人手中只有红桃 A。每人手中的两张牌相当于每个亲本具有一对遗传因子。每人每次出一张牌，相当于同对遗传因子在形成生殖细胞时的分离。甲、乙两人各出一张牌放在一起，相当于受精。红桃 A 总放在黑桃 A 上面，相当于红桃 A 是黑桃 A 的显性。如果手中各有一张红桃 A 和黑桃 A 的甲、乙两人继续按每次每人出一张牌、红桃 A 放在黑桃 A 上面的规则玩扑克，那么有可能在 4 次出牌中，有一次各自的红桃

A 遇在一起，还有二次各自的一张红桃 A 遇到对方的黑桃 A，由于红桃 A 总放在黑桃 A 的上方，因此，这二种情况表面看来也只出现红桃 A，另外一次是甲、乙双方的黑桃 A 相遇。因此出现了 3 次红桃和 1 次黑桃的格局，就像上图所表现的那样。

孟德尔在总结出遗传因子的分离规律后，又进一步分析了不同对遗传因子在生物体产生生殖细胞时的相互关系。根据他的追踪试验，他得到的结论是十分简单明了的，即生物体在形成生殖细胞时，每对遗传因子都要分离，各对遗传因子的分离，彼此间互相不受影响，即每对遗传因子的分离是各自独立的。由于各对遗传因子分离的独立性，使原属不同对的遗传因子有可能自由搭配（组合）在一起进入同一个生殖细胞中。现在，把各对基因的自由分离和不同对基因的自由组合已被称为遗传学第二定律，即自由组合定律或独立分配规律。

如果用扑克牌中的 A 和 K 代表不同对的遗传因子。假设现在甲手中有两张红桃 A 和两张黑桃 K，乙手中有两张黑桃 A 和两张红桃 K。游戏时，每人各出一张 A 和一张 K（出牌相当于形成生殖细胞时的成对因子分离），这样一次游戏结束，甲、乙两人手中的 4 张牌，就都为 2 张 A 和 2 张 K，且 A 和 K 中都是一红一黑。此时的甲和乙继续按各出一张 A 和 K 的规则游戏，则甲和乙在抽 A 和 K 时，就可能出现 4 种 A 与 K 的搭配形式，即红 A 与红 K 在一起，红 A 遇到黑 K，黑 A 遇到红 K，黑 A 与黑 K 相遇。甲、乙两人各自抽一张 A 和一张 K 好比生物体在形成生殖细胞时，各对因子（基因）的独立分离和不同对基因间的自由搭配。当甲、乙两人抽好牌后，下一步是出牌，在出牌过程中，甲的 4 种搭配可与乙的 4 种搭配充分相遇，换句话说就会有 16 种相遇的可能，由于在 16 种相遇的可能性中，红 A 总在黑 A 上面，红 K 总在黑 K 上面，因此，16 次相遇中，会有 9 次看到红 A 和红 K，3 次看到红 A 和黑 K，3 次为黑 A 和红 K，只有 1 次为黑 A 和黑 K，就像下页图所表示的那样。

本该弘扬上帝教义的孟德尔，不顾教义的约束，更不怕亵渎上帝，他在上帝的殿堂上养鼠、种豆以致进行人工杂交，理所当然地遭到上帝卫道士们的诽谤和攻击。指责孟德尔是上帝的叛徒者有之，斥责他在教堂里开妓院者有之。可是科学特别喜爱上帝的叛逆者。正当孟德尔在后花园中默默耕耘时，真理正悄悄向他走去。最后，孟德尔与真理相互拥抱了，可是，拥抱真理的孟德尔并未立即发出耀眼的光辉。

当孟德尔把八年积累的资料整理成文求教于当时的植物学权威、瑞士的耐格里时，这位名噪一时的学者由于对植物的遗传和变异规律一无所知而全盘否定了孟德尔的结论。他认为，孟德尔的试验充其量是数数豌豆而已，数豌豆怎么会发现科学定律呢？！这位权威的言论和漫不经心的态度不仅把孟德尔这位上帝的叛逆者又送回给上帝，而且使孟德尔的科学结论在全世界 120 多个国家的图书馆中沉睡了 34 年。

耐格里可以将孟德尔推向上帝的怀抱，但科学永远不会与上帝握手。当历史的时针指到 1900 年时，三个互不相识的异国科学家同时公布了自己多年来进行豌豆杂交试验的结果，他们分别公布的结果却是完全一致的，这真是科学史上一次最奇妙的巧合！

这三位科学家是荷兰的德弗里斯、奥地利的邱歇马和德国的柯伦斯。当这三位科学家在自己的国度里整理试验数据时，个个都抑制不住内心的激动，因为结果和数据太美了，他们都以为自己首次发现了生物的遗传规律。

当他们在图书馆里寻查有关资料时，三位科学家又不约而同地在布满尘埃的书架上看到了孟德尔的《植物杂交试验》论文，当他们仔细地看完了这篇在34年前已问世的论文后，孟德尔的伟大名字已占据了他们的心田。他们认为，孟德尔的伟大，在于早他们34年就发现了遗传学规律，孟德尔才是遗传学的真正奠基人，而他们只不过是对于孟德尔的结论作了一次证实而已。

这三位学者在1900年同时发现了孟德尔所论述的“分离规律”和“自由组合规律”以后，遗传研究领域的万马齐喑的沉闷局面打开了，一时间歌颂孟德尔定律的和向孟德尔定律挑战的转入了一场激烈的争论。歌颂者预言：“从热力学的二大法则可以演绎出全部热力学，从麦克斯韦公式可以演绎出全部电动力学，从孟德尔法则可以演绎出全套理论进化学与数量性状遗传学。”挑战者认为孟德尔发现的仅仅是适合于豌豆的遗传定律，复杂的生物界的遗传规律，绝不是孟德尔的分离和自由组合可以概括得了的。争论的双方为了稳操胜券，各自拿出了自己掌握的事实。在经过一场摆事实、讲道理的论辩后，不仅使“分离规律”和“自由组合规律”更加稳固，而且引出了“数量遗传”和“细胞遗传”。

### 三、接二连三的挑战

1909年，丹麦学者约翰逊觉得孟德尔假设中的“遗传因子”使用不方便，他认为“基因”比“遗传因子”更能反映事物的本质。如果，这也算一次挑战的话，那么，自约翰逊提出的“基因”之后，孟德尔的“遗传因子”就让位约翰逊的“基因”了。

同年，瑞典人尼尔逊·埃尔对孟德尔假定的一对遗传因子决定一个单位性状提出了挑战。尼尔逊·埃尔仿效孟德尔的杂交试验法，用红皮小麦和白皮小麦杂交，杂种一代的籽粒皮色全为淡红色，杂种2代也出现分离，但红皮和白皮小麦的分离比除出现3:1外，还有15:1和63:1等多种形式。孟德尔从未看到过15:1和63:1这种现象，用一对基因决定一个单位性状也确实说不通。难道孟德尔发现的规律初遇挑战就要落荒而逃吗？幸好，尼尔逊·埃尔本人也是一位卓越的科学家，他信奉科学真理，也能在真理的长河中开拓前进的道路。在试验结果与孟德尔假定出现矛盾时，他创造性地提出了自己大胆的设想。他认为，小麦的杂交试验结果预示着小麦皮色可以由一对基因决定，也存在着二对基因、三对基因和多对基因决定的情况。这个观点不仅继承了孟德尔发现的二条定律而且在继承的基础上发展了孟德尔学说。为什么这么说呢？你大概还很清楚，由一对基因决定的红花豌豆和白花豌豆杂交所得到的杂种二代中，开红花和开白花植株的比是3:1，也可写 $(3+1)^1$ ，这里的指数1代表一对基因。如果指数为2，则杂种二代中显性和隐性的比例就呈 $(3+1)^2=9+6+1$ ，由于9和6都表现显性性状，只有一份表现隐性性状，所以杂种二代中，显性和隐性个体的比例就为15:1。同理，由3对基因决定一个单位性状时，杂种二代中显性和隐性的比为 $(3+1)^3$ 的展开，即为，前三项中都有显性基因，因此都表现显性性状，只有最后一项表现隐性性状，这样，显性和隐性在杂种二代的比例就为63:1。尼尔逊·埃尔的假定不仅说明孟德尔的分离定律和自由组合定律是正确的，而且还修正和补充了孟德尔假定的不足，这次挑战在补充和修正中结束了。

1910年，美国的伊斯特在玉米上也看到了多对基因决定一个性状的现

象。

1913年，美国的斯蒂特文特在用灰兔和白兔做杂交试验时，杂种二代出现灰兔和白兔的分离，分离比也为3:1。这说明灰色基因对白色基因来说，前者是后者的显性。当他用白兔和一种喜马拉雅兔杂交时，杂种一代全为喜马拉雅兔的表型（喜马拉雅兔的表型是四肢端部、耳端、尾端都呈黑色，其余部位全为白色），杂种二代中，出现了白兔和喜马拉雅兔的分离，喜马拉雅兔和白兔的比例为3:1。这二次实验的结果，灰基因和喜马拉雅毛色基因都是白基因的显性，即白毛基因同时会有二种显性基因。这种由三种不同形式的基因决定一种单位性状的情况，孟德尔也没有看到过，他只是指出决定一种性状的基因会出现显性和隐性这两种形式，并把决定同一性状的二种形式的基因叫做等位基因。斯蒂特文特的结果表明，决定同一性状的基因确实不仅仅是二种不同形式，至少有三种形式。于是，斯蒂特文特认为，除了孟德尔提到的等位基因外，还应该“复等位基因”进入遗传学领域而鸣金收兵。

孟德尔在豌豆杂交试验时，提出的显性现象，也经受了实践的检验，检验的结果又纠正了孟德尔假说的片面性。因为客观的事实是在杂种一代中，除了存在着只出现杂交双亲中一个亲本的性状外，即所谓显性，还存在着杂种一代中，两个亲本的性状同样得到表现的情况，这叫“共显性”。此外像紫茉莉杂交中，红花亲本和白花亲本的杂种一代为粉红色花，这种现象叫“不完全显性”，双亲的性状也会在杂种一代个体的不同部位表现，这叫“镶嵌”显性等等。

对孟德尔定律所提出的一次次挑战，只是指出了孟德尔假定的不足，始终未能否定生物体在形成生殖细胞时等位基因的分离和非等位基因的自由组合。因此，经过战斗洗礼的孟德尔定律更增加了集体风采，当孟德尔的假说与细胞学攀上亲家后，依托细胞学的成就，出现了新的腾飞。那么细胞是什么？细胞学的成就又是如何使孟德尔发现的遗传规律出现新的腾飞呢？要了解这一切，还是从罗伯特·虎克说起吧。

#### 四、罗伯特·虎克开创的路

在孟德尔发现遗传规律前的200年，英国医生罗伯特·虎克发现了细胞。

在1665年，虎克用自己设计、制造的显微镜观察软木的薄片时，软木的薄片是由许多极小的“房间”连接而成的，他把软木薄片上的“小房间”叫做“细胞”。

这位医生在观察软木薄片和提出“细胞”这个词的时候，根本没有想到他的发现会把生物学家引导到生物组织的一个更基本的水平，在这个水平上，所有的生物结构都可以归纳到一个共同的起源。

在以后的150年中，生物学家逐渐明白了所有生物都是由细胞构成的，每个细胞都是一个独立的生命单位。有些生物只有一个细胞构成，较大的生物体则是由许多相互合作的细胞组成的。法国生理学家迪特罗谢在1824年就提出了这种看法，但没有遇到知音，直到1838年和1839年，德国的施莱登和施旺分别指出：“一切生物机体都是由细胞构成的”以后，对细胞的研究才掀起高潮。

1839年，捷克生理学家浦金野把填满细胞的胶状液体定名为原生质（生

命的原始物质)，直到 19 世纪中叶以后，法国植物学家默尔用原生质概括细胞中的所有内含物（包括细胞质和细胞核）。德国解剖学家舒尔策强调指出，原生质是“生命的物质基础”，并证明在所有的动、植物细胞里，不论是动物和植物，也不论它们的结构是多么复杂还是多么简单，它们的原生质基本上都是相似的。

细胞学说对于生物学的重要性如同原子学说对化学和物理学。1860 年前后，德国病理学家魏尔啸用一句拉丁语说出了细胞在生命过程中的重要性：“一切细胞都来自细胞。”他指出，病变组织中的细胞是由原先的正常细胞分裂而繁殖出来的。

最早的显微镜制作人、17 世纪时的荷兰人列文虎克的助手哈姆，在雄性动物的精液里发现了一些很小的东西，后来把这种小东西命名为“精子”。到 1827 年，德国生理学家贝尔又发现了哺乳动物体内的卵细胞。这样，生物学家开始知道，动物的生殖过程，是雄性动物的精子和雌性动物的卵结合以后，形成受精卵，受精卵也就是形成动物体的第一个细胞，这种胚性细胞经过反复分裂，最后便发育成动物。

在细胞学说出现的时候，已经知道，体型大的生物体，其细胞并不比小生物体的细胞大，只不过大生物体的细胞数目比小生物体多，如此而已。典型的植物细胞或动物细胞的直径约 5~40 微米，而人的眼睛只能勉强分辨出直径在 100 微米以上的东西，因此人的眼睛一般看不到细胞，它们在显微镜下才被人们所发现。

细胞虽然是这么小，但绝对不是毫无特征的一滴原生质。在 19 世纪，人们已认识到，细胞本身犹如一个完整的生物体，它也是由许多比细胞更小的复杂结构组成的，为了解决许多与生命有关的问题，生物学家不得不对细胞的亚结构进行认真的研究。

例如，既然生物体是通过细胞增殖而长大的，那么，一个细胞是怎样变成二个细胞的呢？答案是来自细胞内一个物质较为致密的小球。这个小球的体积约为细胞的 1/10，是发现布朗运动的布朗在 1831 年发现的，他给这个小球起名为“核”（为区别原子核，而把细胞里的核称为“细胞核”）。

如果把一个单细胞生物人为地分成两半，使其中一半含有完整的细胞核，另一半不含核。那么，有核的一半就能分裂、生长，另一半则不能。这样人们就认识到细胞核在细胞分裂中的重要性。

细胞核在细胞分裂中是如何变化的呢？在很长一段时间内，成了国际性的难题，因为细胞多少是透明的，在显微镜下不容易看清其中的亚结构。后来发现，有些染料能把细胞的某些部分染上色，而其他部分却染不上。这样，情况就开始好转了。例如有一种从苏木中提取的“苏木精”，就能使细胞核染成黑色，使它在整个细胞中变得十分清晰。

1879 年，德国生物学家弗莱明又发现，细胞核并不是单一的组织，它里面还分布着一些丝状物。不过用红色染料能把这些细丝状物质染上红色。于是弗莱明把这种丝状物质又叫做“染色质”，通过对这种染色质的观察，弗莱明成功地看到了细胞分裂过程中的一些变化。虽然，染料给细胞染色时，细胞也失去了生命，人们不可能从一个细胞看到细胞分裂的全过程，但是在许多细胞联合而成的一片组织里，人们能够找到处在不同分裂期的各种细胞，它们呈现出染色质在不同阶段的分布形态。弗莱明把这一个一个的静止画面，按照适当顺序排列起来，构成了细胞分裂过程的“动画片”。

1882年，弗莱明出版了一本描述细胞分裂过程的研究著作。在这本书中，弗莱明指出：细胞开始分裂时，染色质聚集成线状，这时，包围细胞核的膜似乎溶解了，同时细胞核外的一个小物体分成了两个，弗莱明把这个小物体称为“星体”，因为这个小物体向四周辐射出线，看上去象天空的星。星体一分为二后，各自向反方向移动，星体拖着细丝显然已和排在细胞中央的染色质细丝缠在一起了。这一来星体把半数染色质丝拉到细胞一侧，然后，细胞从中部收缩，最后断裂成二个细胞，此后，每个细胞中又形成一个新的核，核膜里的染色质细丝又碎裂成微粒状。

弗莱明把这个分裂过程叫做“有丝分裂”，因为在整个过程中，染色质丝起了重要作用。1888年，德国解剖学家瓦尔德尔把染色质改称为染色体，从此，染色体和染色质就成了生物学家同时使用的名字了。实际上，细胞在分裂结束以后，原来的染色质丝开始集结（螺旋解开）成了染色质，而细胞在进入分裂时，碎裂的染色质丝开始集结（螺旋化）最终就成了染色体。打个比方说，染色质是一根钢丝，而这根钢丝绕成的弹簧就是染色体。

对染色的分裂细胞继续观察表明，同一物种内的生物，细胞内都含有同样数目的染色体，不仅如此，大量观察的资料表明，细胞内的每一种形态结构的染色体都有二条，即在细胞中的染色体是成对存在的。例如人，不管是美国人、中国人，男人、女人，只要是正常的人，其细胞中都含有23对染色体。在有丝分裂过程中，染色体的数目先加倍，然后细胞再一分为二。因此，分裂后的两个子细胞各含有与原来母细胞相同数目的染色体。

1885年，比利时的胚胎学家贝内当发现，生物体依靠细胞分裂形成精细胞和卵细胞，但是形成精细胞和卵细胞的细胞分裂都是发生在成年生物体内，因此，这种细胞分裂特称为“成熟分裂”，又由于成熟分裂产生的精细胞和卵细胞中，染色体数目只有生物体正常细胞的一半，所以，“成熟分裂”又叫“减数分裂”。“减数分裂”包括好几个头尾紧密衔接的时期，在整个分裂时期中，染色体的变化也相当复杂，如果我们假定一种生物体的正常细胞中只有4条染色体，那么这4条染色体一定是两两相同的，即4条分属于2对，同一对中的两条染色体，即同源染色体。在减数分裂前，还处于染色质状态时，染色质先一分为二（复制），但是这种复制并不是完全彻底的，因为复制成的二条染色质还有一处连在一起，这连在一起的地方叫做着丝粒，因为此处分裂继续下去时，有一种丝状物质（叫纺锤丝）附着在上面。染色质复制以后，逐渐盘绕，变粗变短，就形成染色体。通俗说法就是染色质螺旋化成为染色体。然后，同源染色体配成对。同源染色体的配对叫“联会”，联会而成的一对对染色体叫“二价体”，由于每个染色体中有二条，所以每个二价体中，着丝粒虽只有两个，染色体却有四条。因此，二价体也可叫“四合体”，四合体中具有共同着丝粒的二条染色体叫“姐妹染色单体”，没有共同着丝粒的染色体叫“非姐妹染色单体”。联会而成的二价体隔不多久又要互相分开，在分开的过程中，有时候非姐妹染色单体之间会发生片段的交换。随着同源染色体的逐渐分开，一个细胞也开始向分成二个细胞的方向发展，当染色体分到细胞的两极后，细胞就一分为二，此时分裂而成的每个细胞中，染色体的数目比原来少了一半，但是每条染色体中，存在着两条单体。紧接着的变化是，具有两条单体的染色体，发生着丝粒的分开。正由于着丝粒的一分为二而使二条单体各自独立成为染色体。这种原为姐妹染色单体的两条染色体分向细胞的两极，细胞两次一分为二，到这时，减数分裂

结束了。在整个过程中，由于染色质（或染色体）只复制一次，而细胞连续分裂了两次，所以由一个细胞分裂而成的四个细胞中，染色体的数目减少了一半。如果说，原来的细胞中的四条染色体分属两对，即在这个细胞中有两种形状的染色体，而每种形状的有两条。这也可以说，这种细胞中有两套（组）染色体，每套（组）染色体有两种形状，每种形状的染色体为一条，即每套（组）为两条。这样，当这个细胞经减数分裂产生的四个细胞中，虽然染色体的两种形状都有，但每种形状的染色体只有一条了，也就是说，减数分裂而成的细胞中，只有一套（组）染色体，这种细胞也叫做单倍体细胞。当精子和卵子合并成一个细胞（合子或受精卵）后，合子中的染色体当然就变成了两套（组）。由此可见，减数分裂及精子和卵子结合（受精）是保持生物体染色体数目和种类稳定的两个环节。

现在已经发明了一种观察染色体的新技术，采取适当的方法用低浓度盐水处理细胞，使细胞胀大，使各个染色体分散开来，再用显微摄像术把分散的染色体拍摄下来，并把相片中一个个分开的染色体剪下来，再把相同长度的染色体配成对，按由长到短的顺序排列，这样就得到了“染色体组型”，也就是细胞内连续编号的染色体图像。

“染色体组型”为医疗诊断提供了一种精巧的方法。因为在细胞分裂时，染色体的分离也并不总是完全均等的。在细胞分裂过程中，染色体可能断裂或受到损伤，染色体的分离可能不均等，因而会形成带缺损染色体的细胞，也会形成染色体数目减少或增多的细胞，这些细胞会使功能受到损害，甚至完全丧失功能。如果在减数分裂过程中发生这些缺陷，后果就特别可怕，因为具有染色体缺损或缺少某种染色体的卵细胞或精子细胞，一旦受精成为新生物的起点，那么生物体的每个细胞都会有缺陷，结果就会造成先天性疾病。

例如，在 1959 年，法国遗传学家勒热纳、戈蒂埃和蒂尔潘在计算三个唐恩综合症病人细胞里的染色体数目时，发现病人细胞中的染色体数比正常人多了一条，即正常人为 46 条，病人为 47 条。染色体组型分析结果表明，多的一条染色体是属第 21 对的。这种疾病是 1886 年由英国医生唐恩首先发现的，因此叫唐恩综合症，有这种染色体缺陷的病人智力严重低下。到 1967 年，又发现了一个 3 岁女孩少了一条 21 号染色体，这个女孩也表现出智力低下。

罗伯特·虎克发现的细胞，经过一个半世纪的漫漫长夜，终于由弗莱明发现了细胞产生细胞的分裂过程。当 1900 年，孟德尔的结论又被重新发现后，细胞学家又激动起来了，他们从自己的专业出发，提出了“莫非染色体就是基因”的思考。

## 第二章 遗传基因的探寻

### 一、莫非染色体就是基因

提出这种想法的是美国哥伦比亚大学的应届毕业生萨顿。他在大学时代，重点研究蝗虫的减数分裂。减数分裂形成的蝗虫生殖细胞中，染色体数目比正常细胞减少了一半，而雌、雄生殖细胞结合所形成的结合体（合子或受精卵）中，染色体数目又恢复成对。他根据实验结果，在 1904 年明确指出：染色体和基因有许多相似处。例如，在生物体的正常细胞中，染色体和基因

都是成对存在的；成对染色体的两个成员（称为同源染色体）与等位基因的两个成员一样都是相互一致的，都是一个来自父方，一个来自母方；在生殖细胞里，染色体的数目刚好是身体细胞中的一半，基因也是这样，成对的染色体和成对的基因一样，在减数分裂中都是独立分离的；染色体和基因一样，在细胞分裂时都能产生与自己一模一样的复制物（复本或副本）等等。

当萨顿看到了等位基因和同源染色体的许多共同之处后，不仅这位年轻人按捺不住内心的激动，也使整个遗传学领域沸腾起来了，因为自孟德尔提出基因以后，谁也没有看到过基因，有些人也曾把没有看到过的基因认为是根本不存在的，因而把孟德尔当成是唯心论者。细胞分裂中，同源染色体的减半和受精时的同源染色体恢复成对的事实，与孟德尔假定的等位基因的变化是何等相似啊！这些迹象表明，莫非基因就是染色体！萨顿及一些细胞学工作者信心十足地指出：如果假定基因就是染色体，那么用减数分裂和受精过程中染色体的变化即能完满地解释孟德尔的两条定律。

萨顿用同源染色体代替等位基因，具体而形象地解释了孟德尔的定律。例如他用一对同源染色体代替决定红花还是白花的这对等位基因，则纯种红花的一对同源染色体可记做 RR，白花的同源染色体就可记为 rr。纯种红花豌豆减数分裂形成的生殖细胞中就只有一条染色体 R，同理，白花豌豆的生殖细胞中也只有一条 r 染色体，这两种配子（生殖细胞）结合（受精）成的合子中，必然具 R 和 r 这两条染色体，当杂种一代减数分裂时，R 和 r 这对染色体必然分别进入不同的配子中，因此，不管是雄配子（雄性生殖细胞或精子）还是雌性生殖细胞（雌配子或卵细胞）都会有两种类型，一是含有 R 染色体的，另一类是含有 r 染色体的。当这些雌、雄生殖细胞随机结合（受精）时，就必然有四种搭配形式，加上 R 对 r 的显性，那就得到了杂种二代显性和隐性呈 3：1 的分离。

同理，假定黄子叶和绿子叶的基因是另一对同源染色体，那么，这对同源染色体在减数分裂时的分离确实不受 R 和 r 的影响，当然 R 和 r 的分离也不受其它同源染色体分离的影响，也就是说，各对同源染色体的分离是各自独立的。根据这样的推理，似乎染色体可以代替基因了；可是，这位年轻人经过冷静思考，自己就发现了“基因就是染色体”推论的破绽，因为他十分清楚，在生物体的细胞里，染色体的数目是有限的，而每种生物体的性状何止成千上万。既然孟德尔假定的一对基因决定一个性状，那么生物体的基因对数也应该是数以千计或更多。这么说，基因和染色体并不是一回事。

这个正确的思考，使萨顿避免了将基因与染色体划等号的错误判断，同时也促使他进一步去思考，既然与染色体不能划等号，但它们之间又存在着那么多的共同特性，怎样才能对此作出正确合理的解释呢？

合理而又科学的推测应该是：每一条染色体上都携带着多个遗传基因。

但是，科学上信奉这么一条真理：“闪光的东西并不都是金子”，萨顿的推论在逻辑上无论多少合理，如果得不到可靠的事实支持，也永远不会成为科学真理。

到 1910 年，这位年轻人求学所在地的一位教授，用无可辩驳的事实证实了萨顿的推论。

## 二、在染色体上寻找基因

用事实证明萨顿推论的教授是美国遗传学家摩尔根。这位教授长期从事动物胚胎学的研究，在 1909 年，他根本不相信孟德尔的结论是科学真理。当时他对孟德尔的假说是这样评价的：“在流行的孟德尔理论解释中，性状一下子变为基因，一个因子解释不了的现象就添上一个变为二个因子，再不够又添一个变为三个因子。这种对于简单模式的过分推崇是会失去获取正确理解的机会的。”然而，到 1910 年，摩尔根对孟德尔假说的观点发生了 180 度的大转变，促使他大转变的力量是科学真理。

摩尔根从 1904 年开始研究果蝇的胚胎发育，到 1909 年，在他饲养的果蝇群中，突然出现了一只白眼果蝇。这只白眼果蝇促使他改变了研究方向，把兴趣引向研究果蝇的遗传。

摩尔根饲养的果蝇原来都是野外生长的，眼睛全是红色。因此，凡是红眼果蝇都称为“野生型”，突然在红眼蝇群中变出了一只白眼睛的雄果蝇，这只突然变来的白眼蝇就叫做“突变型”。摩尔根给这只突变型雄蝇，配上一只红眼处女蝇，这对果蝇在摩尔根特制的“蝇房”中“生儿育女”，当“子女”成熟时，它们的眼睛颜色全部像“母亲”，也就是都为红色，套用孟德尔的语言就可以说红眼是白眼的显性。

摩尔根继续让第一代红眼果蝇实行“同胞”婚配，产生的第二代中，除出现  $3/4$  红眼果蝇外，还出现了  $1/4$  白眼雄蝇。这样，摩尔根亲自设计和实施的果蝇杂交方案，得到的结果，与孟德尔在豌豆杂交试验中所得结果完全一致。这使摩尔根增强了对孟德尔遗传定律的信服。与此同时，对动物性别怀有浓厚兴趣的摩尔根，除了观察果蝇的红眼、白眼外，他还注意到了果蝇眼睛颜色与性别的关系。当他统计杂种二代的果蝇时，注意到了出现的白眼果蝇全部是雄蝇的事实。

摩尔根抓住契机，继续试验。这次杂交试验用的亲本是杂种一代中的红眼雌蝇和突变而成的白眼雄蝇，杂交结果又与孟德尔曾做过的测交结果相同，即出现了一半红眼果蝇和一半白眼果蝇，当他进一步统计红眼和白眼果蝇中的性别时，却发现不论是红眼果蝇还是白眼果蝇，都是一半为雌蝇、一半为雄蝇。摩尔根对这次杂交试验中首次得到的白眼雌蝇也没有轻易放过，按照他预先的计划，又给白眼雌蝇配上了红眼雄蝇，这一次婚配所产生的后代中，雄蝇全部为白眼，雌蝇全部为红眼，也就是出现了“父传女”、“母传子”这种交叉遗传现象。

摩尔根在进行了一系列的果蝇杂交试验后，全面地接受了孟德尔基因决定性状的假设和萨顿的基因在染色体上的推论，并根据自己和威尔逊对果蝇染色体的研究，正式提出自己的假定，那就是蝇眼睛颜色的基因位于“X”染色体上。

什么叫“X”染色体呢？这个名词的发明者应属德国的亨金。这位学者用切片法研究半翅目昆虫的减数分裂时，发现在精母细胞减数分裂后期，有一条染色体在向细胞一极移动时，处于落后状态，这位德国细胞学家对这个落后染色体的性质不大理解，就随便起了个“X 染色体”的名词，表示这是一种属于未知数的染色体。到 1902 年，美国的麦克郎第一次把“X 染色体”和昆虫性别作了联系，沿麦克郎的思路，许多细胞学家对各种昆虫进行了广泛的研究，终于在 1905 年由威尔逊证明，在半翅目和直翅目的许多昆虫中，雌性个体的细胞中，具有两套普通的染色体，叫“常染色体”，此外还有两个“X 染色体”；而雄性个体的细胞中也有两套常染色体，但只有一个“X 染色

体”。若以符号 A 代表一整套常规染色体，则雌虫的染色体组成就可表示为  $2A + 2X$ ，雄虫为  $2A + X$ 。由于威尔逊的这一发现，人们对于动物雌、雄性别，在外形还看不出来时，可以根据细胞中的“X”染色体的多少加以区别，这样一来，人们就把“X染色体”称为性染色体了。

1908年，史蒂芬斯发现，果蝇的性染色体与威尔逊证明的有点不一样，那就是雄果蝇的精母细胞中除有一条X染色体外，还有一个和它同源的Y染色体，这种染色体呈钩形，比X染色体短。

威尔逊和史蒂芬斯与摩尔根不仅同在哥伦比亚大学任教，而且他们的实验也相互靠近，他们二位的发现，给摩尔根很大的启发和帮助。

摩尔根把决定眼色的基因定位在X染色体上后，他进行了三组实验。

摩尔根进行的第一组实验是：将红眼雌蝇和白眼突变雄蝇杂交，第一代的雌蝇和雄蝇全部是红眼蝇，而第二代则出现了两份红眼雌蝇，一份红眼雄蝇和一份白眼雄蝇，眼色性状的分离表现为3（红）：1（白）。

摩尔根进行的第二组实验是，将杂种红眼雌蝇与白眼雄蝇交配，得到的后代是一份红眼雌蝇，一份白眼雌蝇，一份红眼雄蝇和一份白眼雄蝇。

摩尔根进行的第三组实验是，将白眼雌蝇与红眼雄蝇交配，则出现了后代是红眼雌蝇和白眼雄蝇的眼色遗传性状交差的现象。

三组杂交实验的结果，全部得到了完满的解释。

1911年，摩尔根用同样的杂交试验方法，把几个基因一下子都定位在X染色体上，并提出了一条染色体上的基因互为连锁基因的概念。到1912年，摩尔根在X染色体上发现了18个基因，并且明确指出连锁基因有可能调换位置。这样，摩尔根不仅从孟德尔假说的怀疑者转变为孟德尔假说的忠实信徒，而且把孟德尔的遗传假说与细胞里的染色体很贴切地联系起来。更为重要的是提出了连锁基因和连锁基因交换的新观念，这个观念就是遗传学的第三定律——连锁交换定律。

由此我们可以说，摩尔根的成功中，也包含着他的二位校友——威尔逊和史蒂芬斯的心血。

摩尔根及其战斗集体，在捷报频传的大好形势下，继续兢兢业业地工作，自从提出连锁交换规律后，连锁基因间的交换百分率是一个常数引起了他们的好奇，他们决心解开常数之谜，为此，他们发明了“二点测交”和“三点测交”法。所谓“二点测交”，就是用二个连锁基因的杂种与这二个连锁基因均为隐性的个体杂交，目的是为了测定这二个连锁基因的杂合体与这三个连锁基因均为隐性的个体杂交，以便测定这三个连锁基因间的交换位置的百分数。

摩尔根等提出这种方法，实际上是得益于比利时的细胞学家詹森斯。这位詹森斯，在1909年第一次发现蝶螈性细胞染色体上的交叉结，他认为交叉结的形成是由于联会（同源染色体配对叫联会）着的同源染色体之间，曾经在非姐妹染色单体之间发生过等长度的片段互换。摩尔根等人也正是接受了这个观点，才顺利地解决了连锁基因交换的机制问题。举个例子来说，摩尔根等看到果蝇中灰体（黄体）这种体色基因与红眼（白眼）这种眼色基因是连锁的，当用二点测交时，测到的交换百分数为1%。他们从这个1%就得出：杂种一代的果蝇，进入减数分裂的卵母细胞中，一定有2%的细胞在同源染色体联会时，非姐妹染色单体间，发生了等长交换。

红眼灰体杂种雌蝇由于这对X染色体的分离能够产生两类卵细胞，一类

卵细胞中的 X 染色体上带有二个显性基因；另一类卵细胞的 X 染色体上必然带有二个隐性基因。如果事实果真如此，那么二点测交的结果，只可能得到红眼灰体和白眼黄体这二种果蝇，而且这两种果蝇一定是各占一半（50%）。但事实却不是这样，而是除了上述两类果蝇外，还有红眼黄体及白眼灰体的果蝇。在整个测交后代中，前两类果蝇占 99%，后两类占 1%。这 1% 的果蝇又是怎样产生的呢？摩尔根等认为，因为有了 1% 带红眼黄体及白眼灰体基因的卵细胞才会有这 1% 的果蝇。这个 1% 的卵细胞的产生就是由于这对 X 染色体中非姐妹染色单体等长交换的结果。

这个杂种卵母细胞在减数分裂中，发生非姐妹染色单体间的等长交换，这样就产生了四种类型配子，两种为原来的，即两个显性基因连锁在一起，两种为交换后产生的，即一个显性基因和一个隐性基因由于交换而共处于同一条 X 染色体上，这种配子也叫作“交换型”。毫无疑问，如果一个进入减数分裂的细胞，发生了非姐妹染色单体的交换，必然产生两个交换型配子和两个未交换型（亲本型）的配子。也可以这样说：一个细胞在减数分裂时发生非姐妹染色单体之间的交换，就产生了 50% 的交换型配子和 50% 亲本型配子。当这些配子与双隐性雄果蝇产生的配子受精，那么出现性状重新搭配（重组）的果蝇将占果蝇总数的 50%。由此类推，如果在减数分裂时，杂种母蝇进入减数分裂的细胞，假定二个中有一个发生交换，那么这个未交换的细胞所产生的配子，一个交换型配子也没有，而交换的这个细胞产生的配子中，交换型配子占 50%，按一个细胞减数分裂结束时形成四个配子计算，则交换配子占总配子的比例就是 25%。同理，交换配子数若为 10%（交换值），则可推测，进入减数分裂的细胞中，一定有 20% 的细胞发生了非姐妹染色单体的等长交换。

摩尔根带领他的助手们就是按此原理和按此方法去测定连锁基因间的交换值的，到 1914 年，共测定了位于 X 染色体上 35 个基因的交换值，当他们按照测定的交换值把连锁基因按百分数大小排列起来时，居然把连锁基因连成了一条直线。这条直线上的每个点就是每个基因的位置，这条直线代表着由基因串连起来的染色体。这条代表着基因串连而成的直线是摩尔根和他的学生把数学上的概率论用于生物学研究的杰出成果。

1915 年，摩尔根和斯蒂特文特、布里杰斯联名发表了“孟德尔遗传机理”的文章，1917 年，摩尔根又发表了“遗传的物理基础”一书，1926 年，摩尔根汇总了所有的研究成果，写成“基因论”一书。由于他在遗传学上取得的成果，他获得了 1933 年的诺贝尔医学和生理学奖。

摩尔根及其学生们确实为自己在事业上的成功高兴，但是当他们在取得一个又一个成果时，引出的问题也越来越多，最使他们困惑不解的是基因怎么能使其负责表现的身体特征显示出来，即基因靠什么机理使豌豆种子变成黄色的，使果蝇翅膀卷缩或使人的眼睛成为蓝色等问题。他们清醒地意识到，只有冲破研究基因传递行为的形式遗传学的范畴，才能使遗传学新生。但是，摩尔根等一代名流，在基因如何发挥作用这样的尖锐问题面前，已是心有余而力不足了。

正当摩尔根等一批老一辈遗传学家为遗传学的继续发展焦虑不安时，一批才气横溢的年轻人，勇敢地挑起了研究基因作用的重担。由于这批年轻人的团结战斗，终于迎来了分子遗传学的春天，第二次世界大战后的四分之一世纪就是这批青年纵横驰骋的“分子生物学时代”。

### 三、尿为什么是黑的

发现这个问题和解答这个问题的是英国医生凯洛特。这位临床医生从来没有过多的奢望，但是，他在临床实践中发现的黑色尿液以及他所作出的解释确实给“分子生物学时代”带来了曙光。

所谓“黑尿症”，是指病人的尿在空气中会逐渐变黑的一种疾病，这种“黑尿症”病人不仅尿会变黑，其软骨也会变硬、变黑。经尿样分析，发现黑尿病人的尿液中聚积着一种叫尿黑酸的物质，正常人具有将尿黑酸氧化成更简单的马来酰乙醋酸的能力，而得黑尿症的病人缺乏这种能力，才出现这种黑尿症状。

由于黑尿症不是由细菌或病毒引起的，而是先天就带来的缺陷，凯洛特根据自己的临床实践，把四种因代谢紊乱所引起的疾病称做“先天性代谢缺陷”。1908年，他在一次英国皇家学会资助的演讲会上介绍了“先天性代谢缺陷”的病例，并在1909年把报告内容整理成书发表。他在这本“先天性代谢缺陷”的专论中，对这种“黑尿症”的先天病作了较详细的论述。

凯洛特发现的“先天性代谢缺陷”牵动了英国遗传学家贝特逊的心，他想，黑尿病人的“先天性代谢缺陷”从何而来？是不是也是遗传所致？这位孟德尔学说的忠诚卫士，对凯洛特医生提供的“黑尿病”人的家谱作了分析，家谱分析的结果表明，“黑尿症”的确是一种遗传疾病，是由隐性遗传因子决定的。

凯洛特完全同意贝特逊的分析，在他的“先天性代谢缺陷”论文中接受了孟德尔遗传学的观点，他指出：“孟德尔因子会以某种方式影响机体内生化代谢中特定的代谢物的产生。”在1914年，这位医生在正常人的血液中找到了一种使尿黑酸氧化的物质，这种物质就是尿黑酸氧化酶。根据对正常人和“黑尿症”病人的研究结果，凯洛特医生推断：“黑尿症”病人的问题就在于他们的父母没有遗传给他们产生这种酶的基因。这时，贝特逊根据家谱分析已经得出“黑尿症”病人是隐性纯合体，从临床角度看，黑尿病人缺少一种“尿黑酸氧化酶”。遗传分析和临床诊断的结果，实际上已经指出基因是通过控制酶决定尿液是正常还是黑色的，说得明确一点，那就是隐性纯合的人，因为没有尿酸氧化酶而尿呈黑色。凯洛特医生无意间在遗传园地里播下了种子，在廿余年之后终于在比德尔的悉心照料下发芽、生根。

### 四、一个基因一个酶

美国遗传学家比德尔，原是摩尔根研究果蝇遗传的年轻助手，对新鲜事物的强烈追求是这位年轻人的鲜明特点。1935年，比德尔已在法国巴黎与法国胚胎学家埃弗鲁西共同研究果蝇的胚胎学。果蝇从受精卵变为长出翅膀的成体要经过幼虫（蛆）、蛹二个阶段。但是，果蝇在幼虫阶段已奠定了成体各种器官的基础，这些在幼虫上的器官基础，简称为器官原基。埃弗鲁西一眼就可以在幼体上找到“眼原基”，并且还能从幼体上把“眼原基”挖下来移植在另一种幼虫的腹部。可想而知，通过外科手术移植后的果蝇幼虫在斗转星移中，会在腹部多长出一只眼睛，真的像我国神话中的“三眼灵官”。

在这二位学者的实验室里，饲养着多种不同的果蝇，光眼睛的颜色，就