学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

学友文库

创世新说

BOOK
内部资料 非卖品

创世新说

一 明天的太阳

1.奥妙无穷的新技术

当我们走进大小书店或驻足街头书摊时，都会看到排列着各种各样名为《基因工程》、《分子生物学世界》等有关应用生物工程的书籍；当你打开电视机或收音机时，常常会看到绚丽夺目、妙趣横生的“遗传工程初探”、“人与自然”等有关生物工程的画面，听到有关生物工程与人类生产生活等重大关系的精彩报道。这一切都充分表明了生物工程已成为人们关心的热门话题。通过各种宣传媒体传播的生物工程的特辑、专辑或讲座，也使人们开始了解有关的新知识。

正如瓦特发明蒸汽机从而引起十八世纪的工业革命一样，生物工程的应用和发展，也会引起二十一世纪世界工业和经济发展的深刻变革，为人类提供广泛可以利用又可再生的资源，生产出对生活必不可少的物质和化合物。人工操纵生命、创造新的生命类型的伟大业绩，将会逐渐成为现实。但是，到底什么是生物工程呢，让我们先从最基本的遗传变异讲起。

俗话说：“种豆得豆”、“种瓜得瓜”，“龙生龙、凤生凤、老鼠生的儿子会打洞”，这就是遗传现象。生物把自己的遗传性状相对稳定地传给后代的特性即为遗传性。由于生物具有遗传性，生物的物种才能得以生存、繁衍，才能“生儿育女、传宗接代”；同时，人类利用这一特性，为我们的生产、生活服务。例如养猪生猪，养牛生牛，人们才能吃上美味的猪肉、喝上可口的牛奶；但是，任何一个物种，亲代与子代之间（如父亲和儿子之间），子代个体之间（如孪生兄弟或姊妹之间），无论形态结构或生理特性，都不会完全相同，换句话说，他们之间既相同又不完全相同，这种差异就叫变异。例如，中国有 12 亿人口，但没有两个绝然相同的人。所以我们常常听到人们说：“×××与他爸爸像极了”，可从没听过“他们父子之间像得无法区别”的说法，即使同卵双生的兄弟亦如此。

应该着重指出的是：遗传的稳定性是相对的，而变异则是绝对的。变异多半是变坏了的，例如，产量越来越低，原有的优良性状消失等，而变好的只是极少数，例如产量越来越高，优良性状得到巩固、发展，甚至出现了原来所不具备的新特点并可遗传给后代。

生物进行遗传和发生变异的物质基础是什么呢？是脱氧核糖核酸（简称 DNA），DNA 可以分为很多小的片段，人们通常把每个小片段叫做基因。科学研究表明：基因能表达出生物的各种性状，像美国人的蓝眼睛、英国人的高鼻子等等，都是由基因所决定的；一旦基因发生变异，就有可能引起生物的性状发生改变。

既然生物的遗传和变异是由基因所决定的，那么，人们能否通过改变基因的方式从而改变或控制生物的性状呢？答案是肯定的！

七十年代开始迅猛发展的生物工程技术，就是根据前面所说的理论为根据，企图按照人类设想的蓝图，通过人工操作，以创造新物种的重要途径。

什么是生物工程，它是以生命科学为基础，利用生物体系和工程学原理，提供商品和社会服务的综合性科学技术。

它以生命科学（特别是遗传学、微生物学、生物化学和细胞学）的理论和技术为基础，结合化工、机械、电子计算机等多种现代工程技术，充分运

用分子生物学的最新成就，自觉地操纵遗传物质，按照我们的需要，根据我们设计的蓝图，定向地改造生物或者生物的功能，在短时间内，创造出具有超远缘性状的新物种，再通过合适的生物反应器（如发酵罐等），对这类具有巨大潜在价值的新物种，例如“工程菌”或者“工程细胞株”进行大规模的培养，以生产大量有用的代谢产物或者发挥它们独特的生理功能。

利用生物工程技术，已取得了极大的成功。例如，1982—1983 年美国科学家将一种大型老鼠的生长激素基因分离出来后，转入另一种小型老鼠体内，于是创造出了人类第一批人工巨型鼠之后，接着又将人的生长激素基因引入小型老鼠体内，结果产生了一种比未转入人生长激素基因的对照组小型鼠大 18—100%的巨型鼠，而且引入的这些生长激素基因还能遗传给后代；利用这种技术，还培育出了比普通猪大 50%的大型猪、绵羊猪，人们不仅可以从其身上得到猪肉、火腿和香肠，而且还可得到优质的羊毛；最近报道，中美合作在水稻中分离出了一种抗水稻叶枯萎病的基因，如果把这种基因转移到高产水稻品种中就能得到抗叶枯萎病的新品种……更多的令人振奋的成果，将在后面有关内容中介绍。

可以毫不夸张地说：生物工程，是生命科学中的后起之秀，是一门对人类福利和社会进步起最大作用的技术，是一门对现代生命科学发展发挥着重大贡献的技术，是一门充满潜力和美好前景的技术。它像一轮初升的红日，光芒四射，蒸蒸日上，因此，我们把它比作“明天的太阳”。

生物工程技术的奥秘，对我们具有不可抗拒的诱惑力。但是，我们不能等待大自然的恩赐，而应采用现代生物工程技术向大自然索取，这是时代赋予我们的伟大使命！

2.巧夺天工的魔术师

由于生物工程是按照人们预定的目的，设计好生物“蓝图”，在实验室经过有预见性的、精确而严密的实验过程，通过对生物材料的人工操纵，创造出人们预想的结果，再通过一系列生物工程的技术，以获得新产品为人类服务。因此生物工程技术既能解决某些物理或化学手段能够解决的问题，也能解决某些物理或化学手段不能解决的问题。它所涉及的技术类型多样，主要有 DNA 重组技术、基因合成、细胞融合、细胞培养、微生物发酵、分离纯化和仪器设计等等。

随着科学技术的发展，周边学科的相互渗透，要想简单指出生物工程所涉及的领域、范围实在是太困难了。是否可以这样说，生物工程，犹如“魔术师”的手，已伸向各个领域，创造出了魔术般的奇迹。小到日常生活琐事，大到人类社会日常生活中的重大问题。

如果将生物工程应用于工业领域，则构成了生物工业，如化学工业领域（包括香料、人造调味品、塑料、纺织品……）、能源领域（包括甲醇、乙醇、沼气、氢气、生物新能源……）、生物冶金学领域（细菌冶炼铜、金、铀……）。另有食品、医药、国防、环境保护等等。

生物工程的核心是基因工程，而生物工程的基础则是微生物工程。下面我们用生物中的微生物为例子，以表解形式（图 1）看看生物工程所涉及的领域及其与我们的密切关系。

此表解分门别类的表示了微生物通过生物工程技术的系列化人工操纵所

产生的多种多样的物质以及所涉及的各种应用领域。这些产物和所涉及的具体技术和部门分别有食品工业、制药工业、酶制剂工业、饲料工业、发酵工业、化学工业、机械工业、基因工业、石油工业、矿业、酿造业、医疗卫生事业、污水处理、仪表、宇宙开发、计算机等。

值得注意的是，随着生物工程的发展和外延，并与其它高技术汇合，将会形成某些新的产业。

例如生物信息产业和生物医学产业。生物工程与现代信息技术中的微电子技术、计算机技术汇合，将会出现一个全新的当代高科技前沿领域——生物芯片和生物计算机技术。这是一些先进工业国在发展生物电子学方面工业竞争的焦点；生物工程与现代医学技术、新材料技术汇合，将会出现另一个当代高科技前沿领域，脑移植技术、人工器官的研究和移植等生物医学产业。大致情况请见图 2。

虽然生物工程前程似锦，但它也可能给人类带来潜在的危险：一是生物灾害，例如“生物污染”、“生物暴力”、“生物战争”；二是可能会出现一些当代医学尚无法对付的致病微生物或新物种；另外还涉及到某些社会学问题，在发展生物技术工程的同时，还应注意与人类优良的伦理、道德、观念等传统相衔接，例如人的性别控制、借腹怀胎都将逐渐成为可能，甚至人的无性生殖也会成为现实。这些如果处理得不好就会酿成一系列社会问题。

总之，随着时代的发展，生物工程所涉及的领域将会愈来愈广，与周边学科、技术相互渗透加速，与人类生存发展的关系也将更加密不可分。

3.千年古木吐新枝

生物工程是一项具有悠久历史和近期突破的新兴高技术。按照人们对生物物质的认识观察水平，我们大致把它划分为三个阶段：宏观的生物“个体水平”阶段，这一时期人们对于生命现象的认识仅限于感性和记叙；随后进入显微的“细胞、亚细胞水平”阶段，人们对生物的结构功能已能进行较系统深入的研究；从本世纪五十年代以后，科学家开始对生命的本质进行深入研究并取得了重大突破，从而使生物工程进入了精密定量的“分子水平”阶段。让我们通过各种实例来看看生物工程的现状。

在我们的日常生活中柴米油盐酱醋茶，衣食住行日用品，几乎都离不开生物工程。“山西陈醋”、“镇江香醋”、“生抽王”酱油等等调味佐料，“茅台”、“人头马”、“白兰地”等国内外名酒，还有泡菜、豆豉、酸牛奶、干酪和面包等都是通过微生物工程技术酿制的。“龙井”、“毛尖”、“碧螺春”等名茶的焙制也离不开生物技术。每天做饭烧的“柴”，实际上就是一种“生物能源”，随着人们生活水平的提高，广大农村也会丢掉“吹火筒”，燃起“煤气灶”，即不烧植物秸梗，改用煤或液化气。由于资源有限，人们正在通过生物工程技术，制造“生物油田”、培育“石油树”等。谈到穿，大家有目共睹，各种新兴的纺织面料层出不穷，现在人们正在利用生物工程技术，模仿蜘蛛吐丝一样，研制生产出更多、更好、更美的纺织品。日常用品的品种则更多，例如塑料包装、塑料用品，它给人们带来了许多方便，增添了生活色彩。但也给人类带来了困惑，不易分解，被称为“白色垃圾”，目前人们正在开发应用“生物塑料”，不久，我们就可克服“化学塑料”的缺点。“民以食为天”，至于每天吃的“大米”，各种“点心”，更

离不开生物工程。

当今人类社会虽已进入信息时代，但是，能源、资源、粮食、人口、环境等五大危机却严重地困扰着我们。生物工程对于缓和、解决这些重大社会经济问题，更是休戚相关，“唇齿相依”。

小小的地球，已经超负荷维持着 50 亿人口的生存。可是，现在人口仍以 1500 万/年的速度激增，而人均耕地面积锐减，到 2000 年可能只有 1.5 亩/人，粮食增产却又十分缓慢，致使不少人仍苦苦挣扎于饥饿线上，即使富粮国家，慢性粮食不足也将成为国家的重要课题。中国是一个农业大国，占世界 7%的耕地却养活了世界 21%的人口，的确是一个奇迹。但粮食问题仍是我国的重大课题。在国家高技术规划中，提出了向生物工程要粮的战略。随着“绿色革命”之后，将掀起农业上的“基因革命”的浪潮，就是把有用基因，通过基因“枪”或运载“火箭”等传递到培养的农作物组织、细胞或原生质体中去，使之能稳定的整合和表达，提高农作物的优良性状、改良品质、增加产量。目前在大豆、马铃薯、蕃茄、菸草和油菜中都获得了转基因植物，有的已进行了田间试验。这些转基因植物，具有抗病虫害或抗寒、抗盐碱、抗干旱等“天不怕、地不怕”而又高产的新特性；“无土庄稼”也崭露头角。

人类所需的各种营养物质，以往主要靠植物、动物来提供，现在正应用生物工程，以动植物的废弃物质为原料，通过微生物发酵工程，在发酵罐中，生产出能与动植物蛋白质等相媲美的“微生物肉”——菌体蛋白。由于该技术不受环境气候条件的影响，这样就能够稳定的、批量的供给人类必需的动植性的蛋白质。更有趣的是，有人利用发酵罐培养分散的植物离体细胞来获取一种红色天然化妆品原料或作为外敷药物；有人利用可转化离体培养的棉花细胞成为纤维细胞，用于生产“棉花纤维”，并可人为控制纤维的长度、粗细和品质；还有，给每棵植物建造一个“微型氮肥厂”，这也是生物工程应用于农业的重要课题。

俗话说：“肥多粮多”。当前，各种化肥在农业增产上起了很大作用，但对土壤生态环境也造成了不利影响，且成本较高。而“瓜与豆间作”或“瓜与豆轮作”能够提高土壤肥力，这是农民都知道的事实，是我们的祖先早在 2000 多年前就总结出来的经验。它实际上就是利用根瘤菌与豆科植物如大豆、蚕豆等的根系共生，把空气中的氮素固定下来，成为作物的氮肥，从而提高土壤肥力，即使少施肥或不施肥也能高产。可是很多重要的经济作物，如水稻、小麦、棉花等却不能与根瘤菌“和平共处”，共生固氮，必须施用大量氮肥。科学家们正企图通过生物工程技术，将根瘤菌的固氮基因转移到上述农作物的根系周围大量存在而又不能固氮的微生物或致根瘤微生物细胞中，或者干脆将固氮基因引入这类农作物细胞中去，给每棵植株都建造一个“微型氮肥厂”。这种新品种，不但可满足自身肥料的需要，还可在土壤中积累一定量的氮肥供其它作物吸收利用，据估计，利用该技术所消耗的研究经费，可能仅为常规法发展氮肥工业以达到同样效果的 1/200 以至 1/2000。真可谓“一本万利”！

另外，利用花粉培养技术和组织培养技术，采用“工厂”或“实验室”代替“种子田”和“苗圃”，已培育出多种“花粉植株”、“无土种苗”和“人工种子”等。同时具有土豆和西红柿特点的“土豆西红柿”，白菜和甘蓝特点的“生物白蓝”等新奇品种也纷纷问世。

畜牧业是农业的一个重要组成部分。利用生物工程，已培养出比普通猪

大一半的大型猪，还有既长高级绵羊毛又有优质猪肉的“绵羊猪”、自动脱毛的大绵羊等。通过无性繁殖，选择生产能力强的公牛和母牛，可使 100 头奶牛的产奶量高于 2800 头的产量。

医药是生物工程捷足先登的领域，目前已获得了广泛应用，取得了或正在取得巨大的效益和成果。它将导致医疗科学更深刻的革命。诸如各种疫苗、医用酶和酶抑制剂、干扰素、抗生素、激素、单克隆抗体……。例如能促进人体生长的生长激素的生产，采用发酵工程技术以后，每 450 升发酵液中的含量，相当于 6 万具尸体所得。

单克隆抗体是近年出现的新药，它是通过细胞融合技术而得到的一种杂交瘤细胞，该细胞具有只产生一种特异性抗体又能长期增殖的特性，在医学上可用于精确诊断各种疾病，如心血管疾病、溃疡、感染和卵巢、乳腺、肺、肝等肿瘤，并可提供高效治疗剂，尤其能制成“生物导弹”。

“生物导弹”又名“药物导弹”，是一种专一性、定向性极强的药物。大家知道军事上攻击性极强的导弹，主要由运载体和弹头两大部分组成。“生物导弹”亦大致相同，只是它的运载体是特导性极强的单克隆抗体，而“弹头”则是对肿瘤细胞有着巨大杀伤力的药物，比如某些致病微生物的毒素、蛇毒蛋白、相思子毒蛋白等。有的药物不到一毫克便可置人于死地。当这些药物被制成“生物导弹”后，既可大大减少用药量，又有极强的定向性，专门攻击癌细胞，尤其对深层肿瘤的治疗更具广阔前景。预计 2000 年左右将有一批“生物导弹”投放市场。

能源危机严重制约着社会经济的发展，人类生活水平的提高。生物工程技术能为缓和或解决这一危机作出贡献。

当今所用燃料主要是煤和石油，由于大量消耗而又不能再生，而且这些燃料还严重污染环境，因此人类将面临能源危机和严重社会问题。寻找新的可再生的能源，充分开发利用已有的能量资源，便成为当今科学技术所迫切关心的课题。目前，科学家正从以下几方面进行研究探讨：

用细菌替代酵母菌而大量生产乙醇，利用基因工程菌，将木屑、纤维和不能食用的植物“加工”转换为乙醇，其价格比谷物生产的酒精低廉一倍。例如巴西的石油完全依赖进口，而国内蔗糖过剩，于是就地取材，用甘蔗为原料来生产乙醇，解决了全国汽车燃料的 50%左右；改革传统发酵工艺，利用固定化技术增殖酵母生产乙醇，其发酵周期还不及老工艺的 1/10，不仅提高了产量，还可减少能量消耗 60%。

寻求新能源 现在发现有些植物或微生物蕴藏着极其丰富的可被利用的新能源。例如：生长于沙漠、干旱地的“石油”树，每年每棵树可产 50 克“石油”；海南有一种高大乔木—油楠，一棵 15 米高的树可流出几十斤“柴油”；巴西有一种“柴油树”流出的油可作为汽车发动机的燃料；美国有一种名为霍霍木的种子，含有 50%的液体蜡；另有单细胞藻类如丛粒藻含碳氢化合物量占细胞干重的 15—75%；有的细菌，如果在含淀粉和其它营养物的培养基中培养，每 5 毫克淀粉便可产优质的能源—氢气 5 毫升；就是大家都爱吃的菠菜，其叶绿体进行水光解后也可产生氢气。

利用废水、废渣、生产沼气采用固定化细胞装置，如果每天处理 1 万 8 千吨废水便可获得大量沼气，其能量相当于 2700 吨汽油；在我国广大农村，利用废水、废渣、人畜粪尿也可生产大量沼气，用作燃料或照明等。

用于石油的第二次、第三次开采，尽量发掘石油资源，提高石油开采量。

生物工程技术除了应用于农业、医药、新能源开发之外，对于控制人口增长、增强人体健康、延缓人体衰老、新生婴儿保健等方面也将起到不可估量的作用。现在控制人口增长最基本的方法是使用避孕套、避孕环或服用某种药物等，这些均有其弊病。现在发现，从细菌中获得避孕药物，有效避孕期可达一年之久。这一发现，为大量制备细菌避孕疫苗开辟了新的途径，并为实现免疫性避孕带来了可喜的希望。再如，将生物工程菌引入新生婴儿消化道，就能防止某些疾病，确保婴儿安康。

生物工程技术在消除污染、净化环境并同时获得大量有用物质等方面同样有着极大潜力。不少科学家认为：未来的废渣、废气、废水的治理，主要依靠生物工程技术。

4.明天的太阳更绚丽

“小荷才露尖尖角”，本世纪崭露头角的生物工程已带给人类巨大的福利，当今世界所面临的能源、资源、人口、环境等巨大的危机都将随着生物工程的发展而有效缓解。

生物工程的未来是一幅多姿多彩无比广阔和美好的图景。

未来的新能源

长期以来，人类所采用的能源主要是石油、煤和天然气以及铀等。但是这些资源是有限的。有人曾预测地球上的石油最多还能用 100 年，煤最多也只能再用 200 年。不论此说法是否准确，但是它说明了一个事实，即上述能源的枯竭在不久的将来将是不可避免的。

自从本世纪 70 年代世界上接连两次发生石油危机以来，对再生能源利用的研究已在世界范围内形成了一个高潮。再生能源是指太阳能、水力、风力、波动力、潮汐、地热和生物体等。它具有资源是无限的、能再生和永不枯竭的特点，同时使用起来对环境也不会产生污染。

然而其中最具吸引力的是利用生物工程技术将太阳能转换为化学能或电能，或者说将生物体中贮存的化学能转变成各种液体或气体燃料的化学能。进行光合作用的生物包括陆地上的和海洋中的，都可看成是连续不断的太阳能转换器，而且是能反复使用的换能器。

每年地球上来自太阳的能量达 8×10^{23} 卡，而其中只有 0.05%的太阳能（即 4×10^{20} 卡）经光合作用合成有机物质而积累起来，每年合成有机物的量为 2×10^{11} 吨，这些有机物的总能量是目前全世界消耗能量总和的 70 倍。地球上存在的石油、煤、天然气等也都是由光合作用生成的生物体转化而来的。

由此可见，利用生物工程对于开发生物资源，解决能源危机，具有何等重要的意义。未来生物工程的应用将使人类的能源取之不尽用之不竭，并且使自然环境更有益于人类的生存。

“民以食为天”

随着世界人口的不断增加，人类对粮食的需求越来越大。“民以食为天”，粮食问题是人类面临的最大问题，生物工程的发展将从根本上解决这一问题。

据统计，目前世界粮食的增长 50%是应用生物工程的成果。利用生物工程，首先，人们可以培育出高产、高品质的种子：既能防病、防虫、抗干旱、

耐肥，又具有较高的营养价值，贮藏性好，并适于机械收获、减少作业次数、降低劳动成本。其次，人们还可以培育出既有营养又有好味道的新品种。如现在已培育出土豆西红柿等。再次，还可以培育出能在沙漠、寒冷地区和盐碱地等广大未被利用的土地上生长的种子，以扩大耕地面积，适应人口增长的需要。

利用生物工程，还可以将占空气 4/5 的氮气固定到土壤中作为肥料。实际上，现在世界上农作物所需氮肥的 80%是由固氮微生物提供的。通过生物工程固氮可以大大增加肥料，提高农作物的产量。另外，在已有的近百万种昆虫中，对人类有害的只有 200 多种，并且大多数有生物天敌，所以可以利用生物农药代替化学农药，不仅治虫效果好，而且对作物、环境和人畜无毒害、无污染。

利用生物工程，还可以生产出快速生长的巨型牛、巨型猪、巨型鸡等高产量、高品质的动物新品种，生产更多的肉、鱼、蛋、奶等。甚至还可以模拟和仿效牛等动物“吃的是草，挤出的却是奶”的功能一样，进行动物蛋白的工业化生产。

并且，农业生产和畜牧业生产在未来都可以向工业化发展，像工厂一样生产动、植物产品。如蔬菜的生产可以进行快速生长、采摘、净化、包装等一条龙生产线式的生产。

总之，利用生物工程可以大大提高粮食产量，使人类丰衣足食。

“抗癌导弹”及其它生物工程的发展和应用与医药工业发展的关系愈来愈密切。生物工程可以开发出从自然界和化学合成中无法得到的新药品，或者大大降低现有药品的成本。医药工业将逐步从化学合成工业过渡到生物工程工业，使得一些过去十分昂贵只能服务于少数人的药品，变得价廉物美而服务于所有的人。胰岛素、生长激素、干扰素、疫苗、酶及新的抗生素等都将在近期获得重大突破。

举例来说：美国治疗一个白血病患者，因所用的药物成本昂贵，要花费 15 000 美元，现在应用生物工程技术，使得成本大大下降，只需要花费 300 美元，以后的花费还将进一步减少；再如治疗一个侏儒病人所需的生长激素，因目前只能从死人的脑下垂体中提取，1 克的售价为 5 000 美元，因此目前只有 1%的患者能够得到治疗，这一状况也将随着生物工程的发展而从根本上改观；死亡率较高的心血管病如应用新型尿激酶，给病人带来极大痛苦的糖尿病如应用新型生物制品胰岛素都将得到彻底预防和根治；另外发病率较高的乙肝、流行性感冒等，也可由生物工程生产的新疫苗而进行有效的预防和治疗；再如目前威胁人类健康和生命的癌症也将利用生物工程将单克隆抗体与极毒的化学药物结合在一起而制造出“抗癌导弹”进行有效治疗。

总之，人类所面临的各种疾病都将随着生物工程的发展而制造出的成本低、疗效好的新型药物进行良好治疗，使人类免受疾病的困扰。

自然环境的保护神

人类赖以生存的环境，由于人类自身数量的急剧增加和盲目的工业化等，已造成严重的破坏和污染，并由此使人类遭受着自然界的沉重惩罚。

森林被大量砍伐、许多动植物濒于灭绝；水土流失、土壤贫瘠化、沙漠化、旱涝灾害不断；酸雨、粉尘频降，气候反常；废气、尘埃充满城市上空；废物、废水倾入河湖、农田，鱼虾死亡、农田被毁；农作物受到污染，并直接损害着人类的健康。曾几何时，一些地区天不再蓝、水不再清，再没有鸟

语、花香，疾病却随之滋生。

环境的保护和建设已成为当今人类面临的最严峻的挑战之一。

面对挑战，人类最有力的武器就是生物工程。利用生物工程既能培育和种植产量高、营养丰富、味道好的优质粮食作物，又能生产大量充足和味美的动物蛋白质，由此可以充分节约耕地，有效控制森林、牧场等的滥伐乱垦以保持水土；同时能利用生物工程培育出能在干旱、沙漠、盐碱、严寒等地带土壤中和各种恶劣自然环境中快速生长的绿色植物，使大地处处披上绿装；利用生物工程既能不断快速生产可再生的植物，形成无穷无尽的植物资源，又能将其转化成较干净的燃料如乙醇、氢气等，代替易造成污染且面临枯竭的石油、煤、天然气等；利用生物工程还将能生产既更有效又对人畜无害的生物农药，代替现在某些危害剧烈的化学合成农药，减轻对环境的污染；还能利用生物工程技术取代部分化工合成法进行某些化工产品的生产，减轻化工合成过程对环境的污染；同时，生物工程将能利用微生物冶炼某些矿石，以降低现有冶矿工艺对环境造成的污染；生物工程技术也将大大降低燃煤废气中的 SO_2，避免形成酸雨；生物工程对生活及工业废水、废物的处理将既有效、经济，又能产生出新的有用物质，“ 变废为宝 ”。

生物工程在人类赖以生存的环境的保护和建设中将发挥越来越重要的作用。

二 生物工程的体系

生物工程，充满着无限生机和美好前景的体系，仿佛一座珍藏着无数珍宝的迷宫，充满了神秘色彩。

它既包括与“上帝”媲美能创造新物种的遗传工程，又包括能随意使生物变大变小的细胞工程；既包括能使生物反应于刹那间完成的酶工程，又包括能给人类带来众多福音的微生物工程；既包括在基因工程的基础上“青出于蓝而胜于蓝”的蛋白质工程，又包括将各类生物工程转化为生产力的生化工程。

下面，让我们一起走进这奇妙的生物工程体系。

1.与“上帝”媲美——遗传工程

我们生活的这个星球上，生存着亿万种种类各异的生物。它们（包括人类）从诞生之初便经受着大自然的严格选择。在这个选择过程中，成千上万的物种灭绝了，而那些经受过长时间变异的积累之后，生理条件与外界环境相适宜生命力强盛的物种，逐步取代了旧的物种，摇身一变，成为地球的新主人。与此同时，新的一轮选择又开始了……就在这样反反复复、周而复始的选择与淘汰中，物种把好的结构与功能通过遗传保留了下来，在不断变化的环境中继续向前发展。

通过遗传与变异积累的自然进化，耗去了生物相当漫长的岁月，一个新物种的产生往往需要上百万年时间。能不能在一个相对较短的时间内很快地创造新的生物类型呢？传统的办法是强制不同的生物之间进行杂交，然后从其后代中选出良种。但是，不同种生物之间的杂交，往往是无法做到的，比如老鼠和细菌、绵羊和猪之间。

为什么不可以把老鼠的某一个或者几个基因（遗传物质），如胰岛素基因，安插到细菌的细胞中去，让细菌来生产我们所需要的一些物质呢？这在一般人看来，简直是异想天开。但是，科学家们并不这样认为，他们很早就开始致力于这项工作的研究，希望有朝一日，生物学方面的新发现能够使人类生活得更加幸福。随着分子生物学的迅速发展，生物遗传的分子机制也被逐步认识。到了本世纪 60 年代，经过几代科学家的努力，一门崭新技术——遗传工程的诞生使这个想法成为了现实。

什么是遗传工程呢？就是把不同生物的遗传物质（基因），在体外进行人工“剪切”、“组合”和“连接”，使遗传物质重新组合在一起，然后通过载体（如微生物质粒、噬菌体、脂质体等），转入微生物细胞或者其它细胞体内，进行繁殖，使所需要的遗传物质在细胞内表达，产生出人类所需要的产物，或者创造出新的生物类型。通俗地讲，就是把具有某种遗传信息的基因，用一种比较巧妙的人工方法取出来，然后又用比较巧妙的人工方法把它“介绍”进另一种生物的细胞里，使那个细胞发生定向的变化，使它能够依照人们的愿望发挥作用。这就创造出了生物新品种，使生物能够更好地为人类服务。

要了解遗传工程，首先就得了解什么是遗传物质，怎样获得遗传物质。因为细胞是生命的基本单位，遗传信息就存在于细胞里，我们先从细胞开始说起吧。

生命来源于细胞

大自然孕育了数百万种绚丽多姿、形态各异的生物。然而，无论这些生物如何千差万别，它们都拥有一个最基本的共同特点：都是由细胞组成的（病毒不具有细胞结构）。

组成生物体的细胞可以是一个，也可以是许多个。由一个细胞构成的生物体叫单细胞生物，如细菌以及某些原生动物和低等植物。由许多细胞构成的生物叫多细胞生物，高等动物、植物和人都是多细胞生物。一般来说，多细胞生物所含细胞数是不固定的，成年人的细胞约有 6×10^{13} 个。一个有机体含有如此众多的细胞，我们就不难想象，一个细胞该有多么微小。

细胞的形状千姿百态、多种多样，有球形、椭圆形、立方形、柱形、扁平形、棱形、星形、多边形等等，如下图。另外，还有些细胞的形状是可变的，如变形虫和白细胞。细胞形态的差异，一般是与它们所执行的生理机能和所处的环境条件有关。神经细胞担任传导刺激的任务，它的胞体高度异化成树枝状突起，有的突起可长达 1 米以上，这样就大大增加了它与其它细胞的接触面；具有收缩机能的肌细胞，多伸展呈细长形或者棱形；彼此相互紧密连接的细胞（如动物的上皮细胞）多为扁平形、立方形或者柱形；游离细胞则多为圆形或椭圆形。

构成生物体的细胞，根据其结构特征，可以分为原核细胞和真核细胞两大类。20 世纪 50 年代以后，由于电子显微镜的使用和生物学技术的发展，人们已经逐渐认识到原核细胞与真核细胞的重大区别。原核细胞在进化上处于较原始的阶段，结构简单，构成的生物种类也相对比较少；而真核细胞在进化上处于较高级的阶段，结构较复杂，构成的生物种类相对繁多些。

典型的原核细胞——细菌，是遗传工程中的重要宿主细胞。研究和认识细菌细胞的结构，是分子生物学的重要内容之一。细菌的结构可以分成两个部分：一是不变部分或者称为基本结构，如细胞壁、细胞膜、细胞核和核糖体，是全部细菌细胞所共同拥有的；二是可变部分或者称为特殊结构，如鞭毛、荚膜、芽孢等，这些结构只在部分细菌的细胞中发现，可能具有某些特定的功能。

构成高等动物体、植物体以及人体的细胞都是真核细胞，它们虽然在形状、大小和功能上各不相同，但基本结构是一样的，都是由细胞膜、细胞核和细胞质以及各种细胞器构成的。在植物细胞膜的外面，还有一层细胞壁。

结构和功能相同的细胞紧密地集合在一起，构成动物、植物及人体的各种组织。各种不同的组织结合在一起行使一定的生理功能，则构成器官（如植物的根、茎、叶，动物的感觉器官、消化器官等）。各种组织和器官有序地结合在一起，彼此配合工作，就构成了一个完整的生物有机体。

基因——遗传的基本单位

我们常听说“这孩子长得像他父亲”，表明父亲的某些性状通过某种方式在子代身上表现了出来，这种现象一般被称为遗传；我们也常听说“这孩子长得既不像父亲，也不像母亲”，这种说法表明这个孩子具有他的父母所没有的某些特点，这种子代与亲代存在差异的现象，称为变异。研究遗传与变异的学科则称为遗传学。

古典的遗传学基本停滞于观察、描述生物性状及从事植物杂交试验方面。到了 1900 年，奥地利学者孟德尔发表的遗传学论文《植物杂交试验》中的遗传规律被重新证明并为科学家们所接受以后，遗传学的研究便同当时方

兴未艾的细胞学研究相结合，发展到细胞遗传学阶段。1953 年，沃森和克里克提出了 DNA 双螺旋结构模型之后，使生物的遗传与变异的研究深入到分子水平，分子遗传学从此诞生。随着遗传学的不断发展和深入，人们逐渐弄清了基因的本质并揭示出遗传的机理。从 60 年代开始，科学家分离出单个基因并进行了转移，开始了遗传工程的研究。可见，人类研究生命，目的不仅仅在于探讨生命的本质，更重要的是为了改造生命，征服自然，造福于人类。

孟德尔从事植物的杂交试验，引进了一种称为遗传因子的东西，即后来人们所说的基因。但是基因是什么，它存在于细胞中的什么地方，当时科学家们还无从知道。

到了 1940 年左右，随着生物学的不断发展，科学家们通过卓有成效的工作取得大量的实验证据，表明一切生物的遗传物质都是核酸，核酸存在于细胞核中，而基因就是核酸分子上具有遗传效应的功能单位。科学研究的每一步发展，都凝结了科学家的毕生心血。虽然有些发现也存在偶然的成分，但“机遇往往是属于那些有准备的头脑”的人。正是由于这些默默无闻、不畏艰难的科学家们的辛勤研究，人类社会的科学水平才不断提高。

生物体各种性状的控制，都是通过基因上的遗传密码达成的。在生物个体的发育过程中，遗传信息经过转录和翻译，使后代表现出与亲代相似的遗传性状。1958 年，克里克提出了 DNA（脱氧核糖核酸）的复制、转录和 RNA（核糖核酸）的转译的中心法则，后来克里克又将中心法则补充。

所谓中心法则是指遗传信息自我复制时是从 DNA 到 DNA；转录时，以 DNA 作为模板，在酶（一种生物催化剂）的作用下合成 RNA；而转译则是由转录来的 RNA）顺序决定蛋白质中氨基酸顺序的过程。由于生物体的生命活动过程主要是通过蛋白质来实现的，所以 DNA→RNA→蛋白质的过程，就是生物体由遗传特征到生命活动特征的表现。

了解了基因和中心法则以后，我们便可以知道，通过改变基因的组合，便可以改变生物的特征，这就是遗传工程的基础。

遗传工程的实现

遗传工程是本世纪 60 年代发展起来的一门边缘科学，它综合了生物学、工程学等许多学科的知识，使用了许多最新实验手段。掌握和发展这门科学技术，人们就能够更加有效地改造生物，这就意味着人类对自然将会有更大的自由，人类征服自然界的夙愿将会成为现实。

怎么实现遗传工程呢？或者说，遗传工程的一般过程是什么呢？经过多年的摸索和总结，科学家们把它分成了三个步骤：基因的获得；载体的选择；基因的重组和转移。

①基因的获得

遗传工程是一项非常细致的科技工作。要进行这项工作，科学家们首先就要进行研究，查明哪些生物含有他们所需要的基因，并且能够取出他们所需要的基因。如何查明和取出所需要的基因呢？这需要经过无数次科学实验。这些科学实验的背后，蕴藏着科学家们辛勤的汗水。他 们采取各种方法，选择各种对象进行实验。通过十几年的科学研究，现在至少有两种方法可以用来获得人所需要的基因：一是从某种生物体中分离出来；二是采用人工的方法进行合成。

②基因的分离

核酸分子就像我们常见的绳子一样盘旋缠绕而成链状，一条核酸链上少

则含有几个基因，多则上千个，基因仅仅是核酸分子上的一个小小的区段。要将基因片段从核酸分子上解离下来，就必须破坏基因片段与核酸分子其它片段之间的连结，这种连结是依靠核酸分子中两个核苷酸间的作用力——磷酸二酯键来完成的。很显然，我们不可能像外科手术那样直接进行操作，打开这种连结。而且也不可能在显微镜——无论是普通显微镜还是电子显微镜下进行操作。由于基因的分离是在分子水平上进行的，因此，人们借助进行分子手术的特殊工具——核酸分解酶来获得某一生物的基因片段。

我们知道，在化学中，催化剂能够使一个不能进行或者缓慢进行的化学反应在较短的时间内迅速完成，而它本身的性质却没有改变。酶就是一种催化剂，是由有生命的细胞产生的，可以对生活细胞中进行的多种多样的物质转化起催化作用。核酸分解酶是专门作用于核酸中两个核苷酸间的磷酸二酯键的。根据酶的作用方式，核酸分解酶可以分成两种：核酸外切酶和核酸内切酶。

核酸外切酶作用在 DNA 双螺旋分子末端的单链部分上或者作用在单链的 DNA 分子上，从这些部分切下单个的核苷酸。在进行基因分离时，DNA 分子片段可能会产生一些缺口或者受到损伤，有一种连接酶能够专门对这些缺口和受到损伤的部位进行修补和连接。

核酸是由一个个核苷酸通过磷酸二酯键连接而成的，每个核苷酸分子由三个部分组成：核糖、磷酸和碱基。DNA 与 RNA 的区别主要在于核糖的不同，而不同的 DNA（或者 RNA）分子总是以它的碱基顺序相区别的。

核酸内切酶专门作用在 DNA 分子内部的磷酸二酯键上，使核酸分离成更小的片段——寡核苷酸。不过，它们并不是一遇到磷酸二酯键，就胡乱切割的，而是选准目标进行切割。也就是说，核酸内切酶这种手术刀并不是通用的，它们对 DNA 的切割具有专一性。

图 5 是几种常用的核酸内切酶和它们所识别的顺序。为了简化，我们用 C、T、A、G 表示四种不同的碱基，其中 C 与 G、A 与 T 互补配对。表中的箭头指向表示对应的核酸内切酶所能断裂的磷酸二酯键。

表中的内切酶 EcoR Ⅰ、EcoR Ⅱ和 Hind Ⅲ切割 DNA 后，留下的末端有 2～4 个碱基长度的单链部分。仔细看一下，我们便会发现，这两个游离的末端旋转 180°以后竟然完全相同。当它们和被同一种酶切割而成的末端相遇时，就会由于碱基的互补，而恢复成原来的碱基顺序。因此，在分子生物学中一般称这种末端为粘性末端（另外还有平齐末端）。这种粘性末端十分奇妙，在遗传工程中也非常有用。正是根据这一特性，才能把不同来源的 DNA 分子经过同一种限制性内切酶切割以后组合在一起。在遗传工程中，为了能够获得完整的基因，一般采用切点比较少的，也就是识别顺序比较长的核酸内切酶。

到这里，也许有人感到疑惑：既然核酸内切酶是由生活细胞产生的，那么它对于自己细胞内的 DNA 发生不发生切割作用呢？

不要感到疑惑。核酸内切酶只作用于外来的 DNA，即外源性 DNA。所谓外源性 DNA，就是说，这种 DNA 分子不是宿主细胞原有的，它的成分另有特点。自己细胞所产生的内切酶一般对于自己细胞内的 DNA 不发生作用，例如 EcoR Ⅰ对大肠杆菌中的 DNA 不能进行切割，如果能够发生作用，岂不等于自杀？

怎样利用核酸内切酶分离基因呢？一般这样进行：从生物体的特定细胞里取出染色体，用物理的或者化学的方法去除附着在其上面的蛋白质（如果

有蛋白质的话），剩下的就是染色体上的 DNA 分子。取出了 DNA 分子以后，就可以用一定的核酸内切酶来对它进行处理了。经过处理的 DNA 分子，就在某些特定的位置上断裂了，由此可以得到 DNA 碎片或者个别的基因。但是这不一定是所需要的基因，还需要进行实验。通过一系列的实验来进行分析，获得人们所需要的基因。

③基因的人工合成

基因一旦被人们所认识，就不再局限于只有生物体才能制造和提供了。在实验室里，照样可以人工合成出所需要的基因来。

现在有两种方法可以人工合成基因：人工化学合成和酶促合成。

人工化学合成比较复杂，一般只局限合成比较小的核酸分子。20 年前，有一位科学家用化学方法合成了一种激素基因，由这种基因翻译生成的激素只含有 14 个氨基酸残基。这种基因的合成是按照设计要求，由单核苷酸连接形成寡核苷酸，然后再使两个寡核苷酸片段互补的部分配对，余下的不配对的单链部分，再与另一寡核苷酸片段配对，就这样按照预先设计连接下去。连接处单链上的缺口，经连接酶的作用，形成磷酸二酯键。如此，所需要的目的基因就产生了（见图 6）。

酶促合成，指的是以 mRNA（信使核糖核酸）作为模板，在反向转录酶的作用下合成与 mRNA 互补的 DNA 单链，再经过加倍，形成双链 DNA。前几年，科学家们用小鼠的胰岛素 mRNA 制成 DNA，转移到大肠杆菌体内，从大肠杆菌中获得了只有高等动物体内才能产生的胰岛素分子。

至此，与传说中上帝可随意创造万物一样，能够定向改造生物、制造新生命的遗传工程已经完成了第一步。

④基因运载体的选择

遗传工程中,有了目的基因,那么怎样把它导入受体生物的细胞中去呢？科学家们设想，有这样一种载体，就像摆渡的船只，把行人从此岸送到彼岸，它能够自由地出入细胞；还能够被限制性核酸内切酶切去一部分，可以连接外源性 DNA，并将外源性 DNA 导入受体；并且能够自我复制。

根据这几点设想,科学家们选中了两类运载体:一是病毒(包括噬菌体)，一是细菌的质粒。

病毒是没有细胞结构的寄生物。在寄主细胞以外，它们没有生命现象。一旦进入寄主细胞以后，它们就开始产生代谢作用了。病毒的基本成分是核酸和蛋白质，大部分病毒的核酸是 DNA。病毒的核酸是病毒的遗传物质，它一般位于病毒内部的中央部分，蛋白质包裹在核酸的周围。

在一般人眼里，病毒总是同某些恶性的传染疾病（如流行肝炎、乙型脑炎、爱滋病）等紧密相连的，人们往往谈“毒”色变，不愿接触它。其实只要你懂得一些安全防卫知识，病毒就不那么可怕了。科学家们常用它来做各种实验。

现在常用来作为运载体的病毒是一些温和性病毒，主要有感染细菌的病毒，即噬菌体。噬菌体也能够侵入除细菌以外的其它生物细胞。

先用化学方法，将噬菌体 DNA 分离出来，然后使用与切割目的基因相同的核酸内切酶处理分离出来的噬菌体 DNA，使其产生粘性末端。用这个含有粘性末端的 DNA 作为载体，在连接酶作用下，与目的基因进行重组。至于重组的方法，将在后文中进行介绍。

温和性噬菌体进入受体细胞以后，不会引起宿主细胞中的 DNA 分解，它

可以跟宿主 DNA 整合在一起。这样，不管在哪种情况下，噬菌体都可能成为基因的运载体。

质粒存在于细菌细胞的细胞质中，是独立于染色体、比较小、呈环状的 DNA 分子。质粒不是细菌生存所必须的。在细菌体内，它可以独立地复制、稳定地进行遗传。

作为运载体的质粒，要有能够被核酸内切酶识别并作用的位点，还要有选择标记。前者比较好理解，只有这样，才能切割产生粘性末端，与目的基因结合。至于选择标记，是让人们能够知道它是否存在，是否已经进入了受体细胞以及在受体细胞内的扩增情况。形象地说，就如同在化学反应中用颜色反应来判断某种化学物质是否存在一样。例如，大肠杆菌质粒 PSC101 是经过科学家改造的对四环素具有抗药性的质粒,用 PSC101 作为运载目的基因的载体，并将它导入受体大肠杆菌中，在含有四环素的培养基中进行培养。在正常情况下，大肠杆菌的生长会被四环素抑制或者大肠杆菌被杀死，而有 PSC101 存在则不会发生上述现象，从而说明，目的基因已经进入了受体细菌细胞。

质粒的分离一般是用溶菌酶（一种能分解细胞壁的酶）把细菌细胞壁分解掉，从中取出内含物，再采用物理的或者化学的方法，把质粒与其它成分分开，然后用内切酶处理质粒，使它能够与目的基因结合。

⑤基因的重组与转移

在完成了获得目的基因和选择载体的基础上，接下来就是使制备的目的基因与运载体结合在一起。这种外源性 DNA 和载体 DNA 相互结合的过程称为基因与载体的重组。由于产生粘性末端的方法有所不同，因此，实施这一过程的途径，大体上可以分为两种：

限制性内切酶法准备导入受体的外源性 DNA，在限制性核酸内切酶的作用下，DNA 分子两端产生单链的粘性末端。而环状质粒在限制性核酸内切酶的作用下，开环成链状 DNA，两端也是粘性末端。如果是使用的同一种限制性核酸内切酶进行处理，则外源性 DNA 和质粒 DNA 的粘性末端是互补的。在连接酶作用下，由于碱基互补配对，两者能够相互“粘合”，成为一个较大的链状 DNA（两端仍然是粘性末端），而后两端粘合形成一个新组合的杂交质粒环。可见，这种方法既简单又高效。

人造粘性末端法将所需的目的基因和载体 DNA 在特定条件下,把一种 DNA（如载体 DNA）的两端任意添加数个脱氧核糖核苷（如 dT）；在另一种 DNA（目的基因）两端添加数目相等的具有互补碱基的脱氧核糖核苷（dA）。然后，将两种 DNA 片段进行混合，由于两者末端含互补碱基的单链，容易实现 DNA 重组。

目的基因的质量究竟怎么样呢？是否符合设计要求？这就得看它们在受体细胞里是否能够执行正常功能，产生预定的基因产物。因此，将目的基因插入运载体之后，接下来的就是将它导入活细胞受体中，并且让它得以表达，这个过程称为基因转移。

基因转移的通用方法是：用氯化钙处理受体细胞，提高其细胞膜的透性。这样只要在低温下进行温育，重组 DNA 便可以进入受体细胞。不过，即使在极其严格的条件下，大约在 $10^{5\sim6}$ 个 DNA 分子中也才只有一个 DNA 分子能够进入受体细胞。那么，怎样才能知道目的基因是否进入了受体细胞呢？最直观的方法是利用运载体的选择标记。在前面谈基因运载体的选择时我们已经

对选择标记作了介绍，这里不再赘述。

确定受体细胞中含有目的基因以后，把它分离出来，扩大培养，获得一定的群体，纯化后提取 DNA，然后对提取出的 DNA 进行基因结构分析，鉴定它与原来的基因是否一样。外源基因能否在新的环境（受体细胞）中正确地表达，即利用宿主细胞的材料，正确地进行转录、转译，形成有功能的蛋白质，是关系到遗传工程是否真正有价值的问题。

1.其它生物 DNA，受到核酸内切酶作用，产生 DNA 碎片

2.DNA 片段（目的基因）

3.大肠杆菌（受体细胞）

4.质粒（载体）

5.经同一核酸内切酶作用后开环的质粒

6.开环质粒与外源 DNA 片段形成重组质粒

7.导入重组质粒的大肠杆菌

8.经过增殖形成的大肠杆菌细胞系

9.表达外源基因，产生出所需物质

遗传工程的应用

目前，遗传工程已经成为“应用生物学”中生机勃勃的生长点，它引起了生命科学的一场重大革命。

通过遗传工程，人类进一步认清了基因的活动规律，深入地了解了细胞核和细胞质的关系，给遗传病的防治和癌症的攻克提供了新途径。自从 1981 年以来，科学家们就开始利用遗传工程，叫细菌来创造人所需要的生物因子，已经正式投入市场的遗传工程产品有干扰素、生长激素等十多个品种。人类存在许多遗传病，已有记载的遗传病已经在两千种以上，现在，不少遗传病如半乳糖血症、糖尿病等已经可以用遗传工程方法进行治疗。癌症是人类的大敌，每年世界上死于癌症的有 400—300 万人。一提起癌症，有人甚至感到毛骨悚然。的确，癌症对人类的健康造成了严重的威胁。癌症的种类很多，但是它们直接或者间接跟基因有关系。现在，遗传工程已经成为分析癌症病因的强有力的工具。特别值得一提的是，通过遗传工程的方法，我们知道了癌细胞可以逆转为正常细胞，例如由一种病毒引起的小鼠肿瘤细胞，在高温时可逆转为正常细胞。毫无疑问，癌症的治疗已经指日可待。

通过遗传工程，可以利用外源性 DNA 来定向地创造出生物新品种，控制生物（甚至人类）的进化方向，使生物更有效地为人类服务。1983 年，美国科学家将菜豆贮藏蛋白基因引入向日葵，形成了自然界从未有过的“向日豆”；同年，科学家们将大白鼠的生长激素基因注射到小白鼠的受精卵内，成功培育出所谓“超级鼠”，其体重比一般的品种增加两倍。有关转移外源 DNA 到动物受精卵，培育基因转移动物的研究正在蓬勃发展，目前已在猪、羊等动物上得到表达。可以预料，随着新型运载体的发现，人类创造自身，与“上帝”媲美将会变成现实。不敢想象到的一些人间奇迹可能会由此出现，“超人”可能会由此真正诞生。

遗传工程在给人类带来幸福的同时，也可能会招致祸害。如在进行遗传工程的操作时，可能会把致癌基因或者其它基因插入到生物中从而创造出新的生物。这种有致癌基因的生物或者危险性新物种，如果人为或者不慎从实验室中逸出，得到扩散，就会成为真正意义上的生物武器，危害人类及其环境。

2.胜过美猴王的“金箍棒”——细胞工程

金箍棒是传说中龙宫的镇宫之宝，在美猴王孙悟空的手心里，它可大可小，全凭猴王的兴致！将来，细胞工程学家就像美猴王一样，他可以根据预定的设计，用细胞工程学的方法，任意地改变或者创造细胞和生物有机体。

早在本世纪之初，科学家们已经能够在实验室中，把人体的细胞取出来，放在瓶子中进行培养，而且能够从细胞培养物中分离出可以用来治疗不少疾病的抗生素、疫苗等。

到了 30 年代末，科学家们开始在植物细胞的试管培养方面取得成功。他们把单个的细胞从植物有机体中分离出来，将它进行培养和一系列的处理，这样的一个细胞就可以分化发育，成为一棵植株，而且这棵植株具有母体植物的全部信息。例如，把牡丹的花粉取出来以后，经过培养，它就可以长成牡丹苗，成熟以后就能够盛开美丽诱人的牡丹花。这也就是生物学中通常所说的植物细胞的全能性。

目前，以植物细胞全能性为基础的植物组织和细胞培养技术已经能够培育各种试管植物一千多种；运用植物的花药培养技术也已经得到多种优良品种；从未被病毒感染过的植物生产、花卉苗木的快速大量繁殖已经收到明显效益；体外受精、胚胎培养为植物和动物品种的优化提供了新的途径；由癌细胞和脾细胞融合而成的杂交瘤，它所产生的单克隆抗体被称为“生物导弹”，在征服危及人类生命的恶魔——癌症将发挥重大作用。人们将这一门技术领域称作为细胞工程，它是生物工程的主要组成部分之一。

谈到这儿，我们给细胞工程下一个简单的定义。它就是应用细胞学的方法，按照我们人类的需要和预定的设计，有目的、有计划地保存、改变和创造新细胞及其遗传物质，从而产生新的种或者品种。细胞工程在新技术革命浪潮中占有重要的地位。

实际上，细胞工程只是一个大类，还可以将它分成好几个小类。例如，拿不同的体细胞进行杂交的，叫做细胞融合；在不同生物的细胞之间更换细胞器或者细胞核的，叫做细胞器移植或者细胞核移植；将体外受精的卵细胞拿到体内进行发育的，称为胚胎移植，等等。下面，我们举一些例子，逐一进行简单介绍。

泡马豆和人造小鼠

也许你不太熟悉这两样东西。它们都是通过细胞融合的方法创造出来的生物新品种。

多少年来，菜农们梦寐以求自己的菜地里能够生长出这样一种植物：它的地面以上部分硕果累累，坠满了营养丰富、香甜可口的番茄，而地面以下部分则结满了贮藏着淀粉、蛋白质等大量营养物质的大土豆。这就是“泡马豆”（Pomato），它的名称是由马铃薯（Potato）和蕃茄（tomato）的英文字母字头字尾重新组合而成,已经于 1978 年由联邦德国科学家利用细胞融合方法初步培育成功。培育出的“泡马豆”外型倾向于蕃茄，花叶果实具有杂种特点，遗憾的是地下部分没有长出科学家们想象中的大土豆。尽管如此，这一成功还是为科学家们利用细胞融合方法创造新植物开辟了前进的道路。目前，“泡马豆”的培养工作仍在继续进行。说到这儿，也许你要问，究竟什么是细胞融合？

细胞融合也称体细胞杂交，又叫无性杂交。一般来说，杂种的形成是通过杂交。可是，不同的物种之间，它们的精子和卵是不能随意结合而实现受精的，有的即使受精以后产生了杂种后代，如驴和马交配生出骡，但这种后代是不育的。因而，不同物种之间的杂交或者远缘杂交常常受到严格的限制。

细胞融合就是避开有性生殖，利用现代科学技术，分别取出两种生物的单个体细胞，使它们合二为一，融合成含有多种遗传物质的一个细胞。对于这个细胞，我们把它当成受精卵一样，作为新生命的开始，精心呵护它，使它最后长成完整的生物体。由于它来源于两种不同生物的细胞，保留了两种生物的遗传物质，因而具有两个亲本的遗传特征。人造小鼠也就是根据这一原理创造出来的。

下面，以人造小鼠的设计、产生为例，介绍动物细胞融合方法。

整个工艺大体上可以分成四个步骤：

①细胞的分离组成人及哺乳类动物体的细胞具有极其复杂的结构和机能。细胞在机体内生长时，相互依赖，相互制约，在神经、体液的调节下形成了一种天然的内环境。体外生长时，细胞形态上发生了变化。分离体外生长的细胞，通常要加入某些称为消化液的试剂进行处理，常用的消化液有胰蛋白酶。

②诱导融合所谓诱导，就是加入诱导剂或者用其它方法促使有活力的亲本细胞融合。其方法大致上可以分为物理的和化学的两类。比如显微操作可以归入到物理方法中来；化学方法是指用特殊的药物作为诱导剂进行细胞融合。目前，化学方法用得较多，方法各异，有聚乙二醇融合法、仙台病毒融合法等，不同的方法都有自己的独到之处。

③异核细胞的筛选和培养融合后的细胞已经混为一体了，但融合细胞内还是含有不同来源的细胞核，这时的细胞称为异核细胞。在动物的异核细胞中，存在着一种生存竞争、优胜劣汰的现象，即其中一个亲本细胞的染色体，在细胞分裂的讨程中可能会逐渐被丢失。不过，这个问题好解决，科学家们往往采用一种选择培养基就可以将真正的异核细胞挑选出来，进行培养。

④胚胎移植这将在后文中进行介绍。

我们这里说的人造小鼠，是由瑞士和美国科学家利用细胞融合技术培育出的含人类染色体的小鼠。

在这个实验中，他们选用人的一种纤维肉瘤细胞和小鼠的畸胎瘤细胞。这两种细胞都是有缺陷的：人的纤维肉瘤细胞不能产生一种转移酶，小鼠的畸胎瘤细胞不能产生一种激酶，因而这两种细胞各自都缺少一种酶。这样，两种细胞都有了自然标记。

在实验中，人和小鼠的细胞融合后获得的杂种细胞，在继续培育繁殖中，小鼠的细胞千方百计地排除人的染色体，因此在杂种细胞中，人的染色体可能剩一条，也可能剩几条；有的细胞中可能剩这一条，也可能剩那一条；还有可能所有人的染色体都被排除。分析这些杂种细胞的结果表明，只有保留人类第 17 号染色体的杂种细胞，才能生成小鼠畸胎瘤细胞所缺陷的激酶。

由两个亲本细胞融合在一起形成的杂种细胞，就犹如精卵结合形成的受精卵一样，需要在“ 母亲 ”的哺育下才能成长。于是，科学家们为包含人类第 17 号染色体的杂种细胞找了一个“ 养母 ”。也就是说，将这个杂种细胞注入母鼠的胚泡中，再引入母鼠的子宫内，让其发育生长，直至子鼠出生。

经过对人造小鼠的生物化学测定，表明这种小鼠确实保留了微弱的人类

的酶的活性。

这一实验的成功，证明胚泡内的这种杂种细胞与胚泡一样，也形成了胎儿的正常组织。这不仅为人类遗传病的研究与治疗开辟了新的途径，而且表明，人类可以利用科学技术来提高人口的质量。所以，我们在科幻电影中经常能够看到的具有某些特异功能的“超人”，并不完全是由制片商凭空臆造出来的。

试管婴儿

孩子的诞生使家庭平添无穷的乐趣，而夫妇俩人有一方不孕则往往给家庭生活蒙上一层阴影。现在，人们不再为这个问题发愁了。

试管婴儿是胚胎移植技术发展的结果。胚胎移植是指受精卵移植或者称为“借腹生子”。起初，这项技术仅使用于畜牧业，后来，科学家们大胆地将这项技术用于人类，结果获得了成功。

世界上第一个试管婴儿于 1978 年诞生于英国，这个试管婴儿至今已经 18 岁了，而且他的妹妹也已经出世。近年来，不少国家都在争相发展和使用这项技术。仅澳大利亚每个月就有数个试管婴儿问世。

培育试管婴儿的技术主要包括两个内容：首先是体外人工受精，其次是胚胎移植。它的过程大致是这样的：将精子与卵子在试管内结合受精，25 天后把发育到 8 个细胞期的胚胎移植到女性的子宫中去发育成长，直到足月分娩。试管中进行受精的成功率是较高的，但胚胎移植的难度就比较大了，成功率也比较低。目前科学家进行研究的重点就是如何提高胚胎移植的成功率。

试管婴儿研究的成功不仅可以解决不孕妇女的生育问题，而且具有更深远的意义，它为人类的优生、优育、节育以及避免遗传疾病的繁衍提供了方法。另外，试管婴儿还为研究人类究竟从何而来以及如何发展进化提供了新的技术途径。但是，人为地为试管婴儿选择母体，要使社会能够接受，还不是个简单问题，它将涉及人伦、社会道德观念以及法律等一系列社会问题。

无籽西瓜

酷热的夏季，西瓜是不可缺少的消夏佳品。它不仅甜润解渴，而且营养丰富。不过，使人感到美中不足的是，吃西瓜往往需要吐籽。如果能大量生产无籽西瓜，自然是再好不过的了。

习惯上常说开花结果，似乎很难想象由瓜籽萌发、发育而成的西瓜会是无籽的。

遗传学上认为，生殖细胞（精细胞或卵）的可育性是有条件的。通常，生殖细胞中只含有这种生物的一套染色体。两性生殖细胞（精细胞和卵细胞）结合后，受精卵中的染色体就呈二倍体存在。如果染色体在数目上发生了变化，其结果不是不育，就是出现异常性状。培育无籽西瓜的诀窍就在这里。

首先，我们看一看无籽西瓜的染色体组成和培养过程。正常西瓜细胞为二倍体细胞，其中含有的染色体数目为 22 条，而它的生殖细胞中则只含有一套染色体，即 11 条染色体。当两性生殖细胞结合后，长出的西瓜则含有 22 条染色体。与这种普通西瓜有所不同的是，无籽西瓜含有的染色体数目为 33 条。显然，无籽西瓜含有三个染色体组，因此叫做三倍体西瓜。

无籽西瓜的培育过程，不仅原理相当简单，方法也并不十分复杂。大体上是：首先用一种强烈的物理或者化学因素诱发出四倍体西瓜（含有四个染色体组，染色体数目为 44 条）。然后，用这种四倍体西瓜作为母体，二倍体

西瓜作为父本，杂交育种，就发育成了三倍体无籽西瓜（参阅图 8）。

现在，我们来看一看为什么三倍体西瓜几乎无籽。大家已经知道，生殖细胞中所含有的染色体数目必须是染色体组中染色体数目的整数倍，才会有生育能力或者说具有可育性。比如西瓜细胞中一个染色体组中的染色体数目是 11 条,那么只有含有这样的 11 条或者 22 条染色体的花粉精子或者卵才是可育的。

无籽西瓜的细胞内含有三个染色体组，即每种同源染色体都有三条。这样的细胞在形成生殖细胞时，每三条同源染色体中的两条分别分向两个生殖细胞，而另外一条染色体则无规律可循。由于 11 种同源染色体（33 条染色体）的行为都是如此，所以不难想象，形成的生殖细胞染色体数目是各种各样的，最少的有 11 条，最多的有 22 条，其余的介于其间。前面我们已经说过，只有含有 11 条或者 22 条染色体的生殖细胞才是可育的，但这样的细胞实在太少了。打一个简单的比方，抛 11 枚硬币时，一般是既有正面朝上，也有反面朝上，仅仅是数目多少不同而已；而要正面或者反面同时朝上，可能性也会有，但实在是非常少见。所以，无籽西瓜中差不多无籽的原因，是由于形成生殖细胞时，三个染色体组中有一个染色体组的染色体无规律的行为造成的，也就是说，是由于绝大多数生殖细胞不具有可育性造成的。

谈到这里，大家一定想问，无籽西瓜是用细胞工程中的什么技术制造出来的？从无籽西瓜的培育中，大家可以看出，是通过改变染色体的数目来达到制造无籽西瓜的目的。其实，这就是细胞工程中比较有成就的研究领域，叫染色体工程，它是按照人们的要求有计划地代换、添加或者削减同种或异种染色体的全部或一部分，从而达到定向改变遗传性和选育新品种的一门技术。像无籽西瓜这样的，三套染色体都是从西瓜的生殖细胞而来，所以叫做同源多倍体，另外还有异源多倍体、单体等，我们不作详细介绍。

3.姹紫嫣红刹那间——酶工程

酶是由有生命的细胞产生的一类复杂的有机分子，主要是蛋白质。它们对生活细胞的物质转化过程起催化作用，细胞中的这些转变过程种类繁多，而且时刻都在进行着。酶在其中的作用就像化学反应中的催化剂。可以说，没有酶在生物体内的催化作用，任何生物体或者与其有关的生化反应都不能顺利进行。因此，酶是生物催化剂，是生物生命活动的主要“推动器”。

科学技术在向前发展，人们已经认识到，虽然酶是活细胞产生的物质，但许多酶可以从活细胞中分离出来，并能在体外继续发挥它的生物催化作用，这一重大的发现已日益在工业生产中得到应用。

本世纪 40 年代，以主要生产抗生素的一种培养技术获得成功，从而从生产技术方面为酶工程的形成创造了条件。此后，酶的生产、分离、精制和利用，固相酶、固定化细胞的制备和利用，酶反应器的应用等都得到了飞速的发展。

70 年代初，酶及酶制剂的生产和应用从微生物发酵工程中分离出来，成为独立的酶工程学科。酶工程的发展，使一切有益的反应快速进行，将“姹紫嫣红于刹那间，”对当今社会面临的一些日益严重的问题，将作出巨大贡献，如食品生产，能源开发，环境的保护和改善等。这一新技术必将进一步推动生物工程技术的新发展，大大提高人民的生活水平，进一步改善人民的

生活条件。

酶是如何生产出来的

虽然许多有用的酶可从植物或动物中获得，但最有前途的获取酶的方法，是利用微生物来生产酶。这不仅因为微生物产生的酶品种很多，性能独特多样，可供应用时选择，而且因为这样的酶具有较高的专一性，可以通过分离、变异、生长条件的选择和基因转移等方法来提高酶的产量及增加酶的稳定性。

在为生产酶而进行的微生物选择时，科学家们必须考虑到：这种微生物产生的酶是分泌到培养基中呢？还是保留在细胞中？是否会存在有害的酶？他们总是寻找这样的微生物：产酶量高，稳定性好，回收率高等。

在工业上，一般是采用发酵的方法生产酶，所用的原料通常是限于这样一些物质：较易大量得到、价格低、营养全面。最常用的原料有玉米浆、糖蜜及一些谷类。

传统上用通气良好的批量发酵方法——液体深层通风培养方法进行酶的生产。

安全的酶制品，应该是引起过敏的可能性很小且没有灰尘，同时也应该不含有毒性物质及有害的衍生物。对新酶制品，还必须进行仔细的毒理试验。

固定化酶和固定化细胞

在酶工程中，有一个新的、很有用的领域：将酶固定在不溶性的膜状或颗粒状聚合物上，以这种聚合物作为支持物的固定化的酶在连续的液化反应过程中不再流失，可以从反应混合物中再生，并且可以一次又一次地重复使用，这样就改善了酶反应的经济性。其实，从本质上来说，这只不过是回到了大多数酶在生命系统中的天然固定化状态而已。有些酶当其处于与细胞分离的状态时，就很容易失活，而将它结合在惰性（即性质十分稳定）的聚合物上时，其稳定性得到提高。

在工业生产中，是否采用固定化酶的形式决定于它的经济性。一般释放到细胞外的酶生产成本低，比较多地采用固定化的方法；而存在于细胞内的酶（需要破裂细胞壁和细胞膜才能得到酶）制备成本高些，所以都是采用固定化的酶形式进行工业生产。

目前固定化酶的应用主要局限于工业生产过程，例如用来生产氨基酸、有机酸等产品。但是，固定化酶的潜力不仅在于取代目前应用的非固定化酶换个新花样，而主要在于开发新的应用领域和生产新产品。

固定化酶与溶于水的非固定化酶不同，在正常情况下，固定化酶更加稳定而且能够以纯化、半纯化或者整个细胞的形式反复使用。固定化酶可以在较宽广的条件下工作，催化反应。例如固定化葡萄糖异构酶，可以在 60℃C～65℃之间连续使用 1000 小时以上。

那么，怎样进行酶的固定化呢？通常是用物理的或者化学的方法。物理的方法是将酶吸附于不溶的介质（如凝胶、鹿角等）上或将酶包埋于陶瓷、塑料等载体中，这种方法比较简单，酶活力不受影响，但是吸附时的作用力容易受到反应中酸碱度变化的影响。化学的方法是借助于交联剂将酶共价地连接到固体支持物上，或交联于其上，酶活力高，强度也比较大，但这种制备方法比较难，而且有些支持物还有毒性。

固定化酶要在工业上得到广泛应用，还有待于解决以下几个关键性的问题：寻求新的载体以提高酶的成活率；优化反应性能以提高反应效率等。

近些年来，将完整的微生物细胞包埋于凝胶中使其固定化的方法已经得到广泛应用，这可以消除麻烦的既费时又费钱的酶精制过程。固定化细胞催化反应的流程与固定化酶的催化流程一样，可以用以下流程表示：

固定化细胞（酶）

↓

原料→前处理→消毒灭菌→酶反应器→反应液→产品提取→成品

固定化细胞的一个更明显的优越性是催化反应时作用于反应物的不是单一的酶，而是同一菌体细胞中的一系列酶或者其它辅助因子。我们国家在利用固定化细胞生产啤酒、反丁烯二酸等方面都取得了重要的成果。

利用固定化生物催化剂的优点有很多：

①酶成份可以重复利用；

②适合于连续操作；

③产品中不会掺杂入酶；

④可以更加精确地控制催化过程；

⑤酶的稳定性得到改善或提高；

⑥可发展成多酶反应系统；

⑦减少了下水排放的问题；

⑧在工业和医药业上有大的潜力等。

工业生产中，非固定化酶、固定化酶和固定化细胞催化反应时，一般都是在反应器中。根据反应的类型和酶的稳定性不同，反应器有多种形式。

酶工程虽然在酿造、食品加工、医药、化工和废物处理等方面已经得到了应用，但是要充分发挥其潜力，还有许多工作要做。

展望未来，我们完全有理由预期到：酶的生产和利用将会继续得到发展。随着新的技术革命浪潮的到来，人们对环境问题和能源问题日益关注，酶无疑会在其中扮演重要的角色，发挥重要的作用。

4.可爱的“小东西”——微生物工程

在远古时代，我们的祖先发现，一些长霉的谷物经过水泡了一段时间以后，能够散发出一种特殊的香味和辛辣味。于是，在 4000 多年以前，勤劳、智慧的中国人民就学会了利用自然界中天然存在的微生物来酿造美酒。所以就有了“杜康造酒”、“仪狄作酒，禹饮而甘之”等许多美丽的传说，传诵至今。

在国外，如古埃及等国家，人们也早就知道利用发酵方法来酿制可口的葡萄酒和啤酒，而且懂得如何将牛奶做成酸奶和干酪。

虽然古代的人们并不知道微生物的存在，也不晓得发酵的机理。但是他们创造的许多发酵工艺完全符合科学原理，酿制出的食品色味俱美，所以流传至今，人们仍在采用它。

到了 16 世纪中叶，一位名叫列文·虎克的科学家制成了能够放大 200～300 倍的简易显微镜，并且用它发现了微生物。这时，科学家们开始集中精力寻找和发现各种新的微生物。并对这些已发现的微生物进行分类，但是他们并没有注意和研究微生物和发酵的关系，也就没有发现发酵就是由这些可爱的“小东西”引起的。

直到 19 世纪 50 年代，法国的一位著名科学家巴斯德经过大量实验后证

明糖变成酒精是由酵母菌引起的，而酒的变质则是由于一些杂菌污染的结果。随后，著名学者柯赫发明了两种从自然界中分离、纯化微生物的方法——划线法和平板稀释法，这为进行纯种发酵奠定了基础，这两位科学家的重要发现的首要功绩，在于把古已有之的发酵技术提高到一个现代化的新水平。由此以后的几十年间，食品发酵、酿酒、酵母生产等得到迅猛发展，世界各国的许多现代化发酵工厂如雨后春笋般涌现出来。

第二次世界大战（20 世纪 40 年代）以后，以生产抗生素为代表的新型发酵工业得到了迅速的发展，新产品层出不穷，发酵设备同时得到了比较完善的发展。这时，微生物发酵工程体系基本形成。

要谈微生物发酵工程，必然要说到微生物，让我们先从与微生物发酵工程有关的微生物开始说起吧。

常用的微生物

微生物发酵工程是以微生物的生命活动作为基础的，任何一种类型的发酵过程都必须有相应的微生物存在。

在自然界里，微生物的种类纷繁复杂，有无细胞结构、单细胞、多细胞的各种微生物。这类生物个体都非常细小，通常只能借助于显微镜才能看到。

有些微生物对人类有害，也有许多微生物对人类有益，如酵母菌，就是人类喜爱的“小东西”之一。在工业上，我们所使用的全部微生物都称为工业微生物。工业生产时，我们还常常会遇到杂菌污染问题，杂菌污染会严重影响、甚至完全破坏所需的发酵过程。在不同的生产中，有些微生物会从工业生产菌变为令人讨厌的杂菌，例如醋酸菌在生产醋时是生产菌，但是它也会引起酒类变质。

在工业生产上经常使用的工业生产菌，主要是一些细菌、放线菌、酵母菌和霉菌。随着微生物发酵工程及与其相关的技术的发展，病毒、单细胞藻类等其它微生物也正在逐步成为工业生产菌。

①细菌

细菌是单细胞生物，一般个体很小，只有 1 微米左右大小，它的基本形态有三种：球状、杆状、螺旋状。有些细菌的细胞体表面生长着一种极其纤细而呈波浪形的丝状物，我们把它叫做鞭毛。实际上，鞭毛是细菌的运动器官。而有些细菌向其细胞壁外面分泌一层疏松、透明的粘稠物质，这一外被叫荚膜。荚膜可以保护细菌，不让它受到侵蚀，同时还能贮藏养分，堆积废物等。有些细菌在其生活史的一定阶段，体内会生成一内生孢子，称作芽孢。芽孢含水量很低，代谢活动缓慢，它具有一个致密的不易渗透的外壁，对化学药品、干燥和高温等不利的条件具有高度的抵抗力。

工业上常用的细菌有许多种，这里仅介绍主要的几种：

醋酸菌属——分为两个菌群：葡萄糖杆菌和醋酸杆菌。葡萄糖杆菌将乙醇氧化生成醋酸，但不能进一步分解醋酸，因此醋酸是其最终产品。这种杆菌还能将葡萄糖氧化成葡萄糖酸。醋酸杆菌不仅能将乙醇氧化为醋酸，而且可以将产生的醋酸进一步氧化生成二氧化碳和水。

乳杆菌属——德氏乳杆菌可以将糖转化为乳酸。链球菌亚属、串珠菌亚属等也是重要的乳酸菌。它们都是革兰氏阳性细菌、不运动、兼性需氧。乳酸菌与食品工业的关系很密切，由它所产生的乳酸是多种酿造食品的成分。

大肠杆菌和产气杆菌为革兰氏阴性、无孢子的杆菌，在动物肠中形成细菌群。如食品中有此种细菌存在，则此食品有污染动物排泄物的可能，因此

它可作为公共卫生上的重要指标。现在利用大肠杆菌作为基因克隆的受体尤为普遍。

②放线菌

放线菌的菌落呈放射状排列，因而得名。放线菌具有生长发育良好的菌丝体，其菌丝分基内菌丝和气生菌丝两种。基内菌丝即为营养菌丝，气生菌丝是基内菌丝发展到一定阶段的产物。气生菌丝成熟后，在它上面生成孢子丝，形成孢子。放线菌的繁殖是靠菌丝断裂或形成孢子进行的。

放线菌在自然界中分布很广。它的最大价值在于能产生各种抗生素，已知由放线菌产生的抗生素大约有 4000 种左右,其中有数十种具有临床价值和农业生产使用价值，例如链霉素、卡那霉素、井冈霉素等。

③酵母菌

酵母是一群属于真菌的单细胞微生物。它分为两类：能产生子囊孢子的真酵母和不能生成子囊孢子的类酵母。酵母的细胞形态有球形、卵圆形、椭圆形、腊肠形等，通常以出芽方式进行无性繁殖。

差不多所有的酵母都能发酵葡萄糖、果糖及甘露糖而生成酒精和甘油。

酵母除发酵产生酒精和甘油外，其有利用价值的化合物大部分在细胞中。酵母含丰富的蛋白质，工业上常用它来制造单细胞蛋白，供应食用和用作饲料。酵母细胞中的核蛋白、核酸及其分解产物，常用来制取核糖核酸、核苷酸。现在人们利用味精废液、酒精废液制备单细胞蛋白时，往往利用酵母作为生产菌种。

常用的酵母菌种有啤酒酵母，我们都知道面包色香诱人，啤酒更是现代家庭、宴席中不可缺少的饮品，二者的生产制作均得归功于啤酒酵母；此外，德巴利氏酵母、毕赤氏酵母等都是常用的菌种。

④霉菌

霉菌，能引起各种食物发霉、变质，引起人畜的病害，所以它给人的印象往往不佳。比如发霉的花生中长有黄曲霉，其产生的黄曲霉毒素，食入体内后会引起癌变，食入过多甚至会引起人畜的死亡。而事实上并不尽如此，比如鲁氏毛霉能产生蛋白酶，有分解大豆中蛋白质的能力，常用于生产豆腐乳；展青霉能产生灰黄霉素，可用于治疗真菌性皮肤病等等，举不胜举。

霉菌在自然界分布极为广泛，存在于土壤、空气、水和生命体中。它可用来制酒、制酱等。还可以用来生产酒精、柠檬酸、抗生素、酶制剂等。当然，如前所述，它也会引起食物、仪器设备等发霉、变质。

霉菌也叫丝状真菌，是真菌的一种。它的营养体由菌丝构成，菌丝像捕鱼网一样，互相交织在一起形成菌丝体。部分菌丝向空中发展到一定阶段，分化成繁殖器官，产生孢子并进行繁衍。

发酵及微生物发酵工程

在前面，为了便于大家进一步了解微生物发酵工程，我们已经讨论了常用菌种的有关问题。由于微生物发酵工程的实质就是发酵，我们下面先说一说发酵吧。

随着科学技术的进步，发酵作为一门技术的定义还在不断的得到发展和充实。现在，人们通常把利用微生物的生命活动来制备菌体本身或其代谢产物的过程统称为发酵。

要实现发酵过程并得到如期产品，必须要具备这样一些条件：1.要有合适的微生物或经过加工改造后的基因工程微生物；2.要有进行发酵，提取产

品的设备；3.要提供微生物进行代谢活动的各种条件（培养基组成、温度、氧浓度、酸碱度等）。

在发酵过程中，微生物为了利用培养基中的养份，往往需要向体外环境分泌一些品种繁多的生物催化剂——酶。在这些酶的作用下，培养基中的各种大分子如淀粉、蛋白质被分解为小分子，如葡萄糖、氨基酸等，可被微生物细胞吸收利用。这些小分子化合物进入微生物体内后，又在细胞内的一系列酶的帮助下，参加微生物的新陈代谢作用，产生细胞体生命活动所需的能量和各种细胞结构物质，构建成新的微生物细胞；与此同时产生各种各样的代谢产物。因此可以说，酶在发酵过程中起着决定性的作用。没有酶就没有生命，也就没有发酵。

谈到这里，我们就不难理解发酵工程了，它就是利用微生物的一些特定性状，通过现代化工程技术进行发酵，产生有用物质或直接应用于工业化生产，以把粮食、能源、化学制品、环境控制等全球性课题联系起来的一种技术体系。它的主要内容包括菌种选育、发酵条件选择、发酵罐的设计、产品提取等。

微生物发酵工程就其发酵的方式可分为厌气发酵和通风发酵两大类型。厌气发酵的主要代表有酒类发酵、乳酸发酵、甲烷发酵等，而酵母培养、抗生素发酵、氨基酸发酵、酶制剂生产等属于通风发酵。

按应用目的和范围，微生物发酵工程大体上可分为：

①微生物菌体的生产和应用，如利用一级原料生产饲料蛋白。

②微生物代谢产物的应用，如氨基酸、抗生素等生理活性物质。

③微生物机能的利用，如微生物对有毒化合物和高分子化合物的分解净化、细菌冶金、化学转换有机废水（渣）的处理与利用、提高石油开采率和石油加工、宇宙开发等。

由于微生物发酵工程具有投资省、见效快和污染小的特点，日益受到各方面的重视。现在在全世界范围内已建立了一大批微生物产业，如食品、饲料、医药、农药、生理活性物质和生物能等产业。可以说，微生物发酵工业已成为世界经济的重要组成部分。

生物工程中的各大领域如遗传工程、酶工程、细胞工程等研究成果，一定要通过微生物工程才能转化为生产力，获得可观的经济效益或社会效益。由此可见，微生物发酵工程在整个生物工程中是一个最重要的组成部分。加强微生物发酵工程的研究，不仅其本身能给人类带来巨大的恩惠，而且，对加强整个生物工程的发展也起着决定性的作用。“微生物虽小威力大”，正是由于微生物发酵工程的重要价值，使世界各国投入大量的人力、物力、财力进行规划、研究，使其充分发展。

5.青出于蓝而胜于蓝——蛋白质工程

我们已经了解了有关遗传工程（即基因工程）的概况，遗传工程是生物工程体系中最重要、也最有发展前途的一个分支。这几年来，遗传工程研究的最突出成绩，应该归结于 RNA 重组技术的开拓以及蛋白质工程的兴起，尤其是蛋白质工程，被科学家们称作是第二代遗传工程。其实蛋白质工程是遗传工程的一个组成部分，由于它发展非常迅速，显示出巨大的潜力和光辉前景，因此科学家们把它单独列出来，叫做蛋白质工程。

蛋白质工程是科学家们将遗传工程的研究成就与蛋白质结构研究互相融合的产物。他们根据蛋白质结构研究的结果，按照事先设计好的蓝图，利用在脱氧核糖核酸链上某一处定点诱发核苷酸上碱基发生改变的技术，改造编码蛋白质的 DNA 上的碱基顺序，或者用人工方法设计、合成具有特定 DNA 碱基顺序的新基因。把这种改造过的基因或新合成的基因放到寄主细胞中进行表达，就能生产出被改造了的具有特定氨基酸顺序、高级结构、特定理化性质和特殊生物功能的新蛋白质。

现在，蛋白质工程的研究已经取得了令人鼓舞的成果。如，美国有一家著名的生物技术公司利用蛋白质工程技术，将一种非常有前途的抗癌药中的氨基酸进行了修饰。这一修饰非但没有影响该抗癌药的生物活性，反而增加了它的稳定性。这种生物类的药品将来可以用来治疗如癌症等的一些严重威胁人类健康的疾病，而且也可以对爱滋病进行治疗。

英国科学家别出心裁，他们邀请英国的一些大学和公司，成立了一家蛋白质工程俱乐部。他们计划在五年内花费 350～450 万英镑，用于蛋白质工程的研究。美国科学家们不甘示弱，迎头赶上英国人，他们也计划用五年的时间，投入约 2000 万美元集中精力研究如何改变蛋白质的结构和功能，使它适合人们的需要。人类科学就是在这些科学家的和谐竞争中不断取得进步的。可以预见，在不久的将来，蛋白质工程的研究成果将层出不穷。

蛋白质工程将在基因工程的基础上“青出于蓝而胜于蓝”。

6.转化为生产力的“金桥”——生化工程

桥，可以连接此岸与彼岸，使天堑变为通途。那么，开发实验室中的生物技术的研究成果，使之转化为生产力，从而保证得到最大的经济效益的“金桥”是什么呢？什么样的技术可担此重任呢？这就是生化工程。生化工程是利用化学工程的原理和方法研究含有生物体系或生化反应的工业生产过程中带有共同性的基础理论和工程技术问题的一门技术。

早在本世纪 40 年代，随着青霉素工业的建立，生化工程就随之诞生了。当时，微生物学家、化学家、化学工程师及机械工程师等通力合作，把原来要用几万瓶培养物才能生产 1 公斤青霉素的表面培养法，改进为采用具有搅拌和通气装置的发酵罐的深层培养法，彻底改变了发酵过程中的落后面貌；同时由于引进了先进设备，使生产能力得到了大幅度的提高。就是这样，以现代化技术及设备进行武装的青霉素工业建立起来了，为青霉素的大量生产和广泛应用奠定了基础，这也为生化工程的研究拉开了序幕。

早期的生化工程研究内容很简单，科学家们除了设法将化工单元操作尝试用在生物体系的加工和发酵工业外，主要就是研究进行有关的深层培养中氧的供需与传递问题。

随着生物工程内容不断更新，品种不断增加，产品要求不断提高，以及由于扩大产量、降低成本、节约能源等方面的要求，目前生化工程的研究领域扩大了，研究内容也有了不少充实和更新。如为了了解微生物的生理特性和提高生产效率，进行了连续培养的研究；为了适应某些特殊产品的投产和从节约能源出发，进行了多种新型发酵罐的研究。随着酶工程的发展及固定化酶的不断用于工业生产，进行了酶反应器的研究；为了扩大生产，提高生产能力，进行了生化反应器放大规律的研究。随着电子计算机在生产领域中

的广泛应用，开展了生化过程计算机辅助设计及动态优化控制的研究等等。

因此可以说，目前的生化工程不但已成为一门内容十分丰富的，由多种基本学科交织而成的新型学科，而且对生物工程技术的开发作出了卓越的贡献。据美国《化学工程新闻》报道，1985 年，美国在生物工程有关设备方面的总消耗额为 10 亿美元；而 1995 年翻了两番，为 40 亿美元，生化工程的重要性由此可窥一斑。

相信随着未来生物工程技术的迅猛发展，生化工程将愈来愈显示出它在其中发挥的举足轻重的“桥梁”作用。

以上简略地介绍了生物工程的体系。由于种种的历史原因，我国的研究工作做得不够系统，研究力量也较为薄弱。因此从总体上看要落后于发达国家。值得欣慰的是我国的生物工程的春天已经到来，祖国生命科学事业的腾飞已指日可待。

三生物工程的丰碑

21 世纪是生命科学的世纪，迅猛发展的生物工程必将在人类未来的发展史上大放异彩。

追溯生物工程数千年的发展历程，无数科学家为了探求真理，历经了千辛万苦，前赴后继、奋勇向前。他们是生物工程乃至整个生命科学发展道路上的不朽丰碑。

在这一座座流芳百世的丰碑上，既铭刻着他们在探求生命的奥秘方面做出的卓越贡献，又铭刻着他们的开拓进取、奋斗不息、百折不挠的献身精神。他们的精神将激励着一代又一代献身科学的人们……

1.进化论的奠基者达尔文

1859 年 11 月 24 日，对于英国伦敦，这是一个很不平凡的日子。

这一天，伦敦众多市民涌向一家书店，争相购买一本刚出版的绿色封面的新书。这本书的第一版 1000 余册在出版之日即全部售完。许多读者因买不到它而遗憾不已。原来不愿承印它的出版商为之精神一振，又再版了 3000 册，也很快一抢而光了，欧洲各国不少读者还要求邮购。这在当时是十分罕见的。

这本轰动一时的书就是《物种起源》。马克思在仔细研究了这部书后指出：“这本著作非常有意义，我可以用它来当作历史上的阶级斗争的自然科学根据。”恩格斯则称《物种起源》为“划时代的著作”。这部受到高度评价的著作的作者就是进化论的奠基者、生物工程的先驱——达尔文。

兴趣的萌芽

达尔文的母亲苏珊是一位有见识、有教养的妇女。她很爱孩子，时常利用各种机会培养孩子们对周围事物的兴趣；同时她又很有耐心，十分爱护他们的好奇心，每逢孩子们提出各种稀奇古怪的“傻”问题时，她从不横加指责，而是耐心地给予解答。正是妈妈的这份爱心和耐心使达尔文对生物，对他所生活的这个奇妙的生命世界产生了最初兴趣的萌芽。

1815 年夏季的一天，天气晴朗，蔚蓝的天空中飘着几朵白云，大地散发着诱人的清香。苏珊带着达尔文兄妹俩在花园里玩耍。孩子们采了一些花儿，又去捕捉蝴蝶。苏珊拿起花铲给刚栽的几棵树苗培土。她铲起一撮乌黑的泥土，轻轻闻了闻，然后把它培在小栗树的树根旁。

“妈妈，我也要闻闻”，达尔文兴高采烈地跑了过来，学着妈妈的样子闻着乌黑的泥土。突然达尔文抬起头，好奇地望着妈妈，问道：“妈妈，您为什么要给树苗培土？”

“我要树苗和你一样壮实地成长，树苗离不开泥土，就像你离不开食物。”妈妈说：“好好闻一闻，这是大自然的气息，是生命的气息呀！别看这泥土黑，它却是万物生长的基础。有了它，才有了郁郁葱葱的青草，于是才有了成群的牛羊，我们就有了肉和奶；有了它，花朵才能开放，蜜蜂才会成群飞来，我们就能喝到香甜可口的蜂蜜；有了它，才能长出燕麦和稻子，我们才有了粮食和面包。”

“那么泥土里为什么长不出小猫和小狗呢？”达尔文开始刨根问底了。

苏珊笑着对达尔文说：“小猫和小狗是猫妈妈、狗妈妈生的，是不能从

泥土里长出来的。”

“我和妹妹是您生的，您是姥姥生的，对吗？”

“对啊，所有的人都是她们的妈妈生的。”

“那，嗯，最早的妈妈是谁，她又是谁生的？”

“听说最早的妈妈是夏娃。不过，我只知道圣母玛利亚。”妈妈用手指着远方教堂对儿子说：“就是教堂里那个圣母玛利亚，可能夏娃和圣母玛利亚都是上帝创造的。”

“那上帝是谁造的呢？”

“亲爱的，世界上有很多事，对于我，对于你爸爸，对于所有人来说，都还是个谜，我希望你长大了自己去找答案，做一个有出息、有学问的人。”

也许从那时起，生命从何而来的问题就印在了小达尔文心中，直到最终自己找到这个秘密的答案。

强烈的好奇心和求知欲使年幼的达尔文把家里的花房、花园和门前大河两岸的绿色世界当成了自己最早的课堂。他不但天生地喜爱动物，还喜欢收集各种植物、贝壳和矿物的标本。他时常独自坐在河边或塘边，静静地注视着水下的游鱼和缓缓流动的河水。在妈妈悉心地指导下，他学会了怎样根据花蕊来识别花草，怎样记住各种花草和树木的名称……伴随他对生物了解的不断加深，他对生物的兴趣也愈来愈浓了。

也许正是出于对生物的喜爱，达尔文对各种小生命也总是格外珍惜。他很喜欢摸鸟蛋，但绝不将鸟蛋全部拿走，否则他觉得鸟妈妈太可怜、太孤单了。

童年在无忧无虑中过去了，妈妈的耐心引导使达尔文对生物的兴趣产生了萌芽，尤其是生命从何而来更成了小达尔文心中最神圣的领地。然而也正是得益于母亲耐心的教导，他那良好的观察能力、敏锐的思维能力为他日后的成功打下了坚实的基础。

巧遇“伯乐”

1825 年秋天，达尔文按父亲的意志进入爱丁堡大学攻读医学，但是他对生物学的爱好却从来没有失去，并且还经常听地质学课，后来他又决定不学医学。两年后他被父亲强迫送入剑桥大学攻读神学。对于这一系列的安排，达尔文感到很厌烦，可又逃不出神学院这个牢笼，一度相当消沉。但不久他遇到了对他整个一生影响最大的一个人，这个人使他对生物学的热情再次迸发出来。

一个初夏的假日，达尔文为父亲不准他放弃神学专业而十分苦恼。这时，他的表哥约他去参观剑桥大学植物园，达尔文也想去散散心，于是也就欣然前往。

在植物园，他们遇到了一位年轻的教授正在利用假日给几个爱好植物学的学生讲解虫媒花的传粉过程和方式。达尔文对教授走出教室用实物来进行教学的方式十分感兴趣，于是他一直跟着他们，聚精会神地听着这位年轻教授的讲解：

“现在，我们再来看看金鱼草花的结构。”教授随手摘下两枚金鱼草的花，把一枝交给学生，“你们看，它的花瓣像嘴唇那样上下紧闭，花蕊和花蜜都藏在筒状的花瓣里面。”

“真是守口如瓶啊！”一个学生说，“教授，金鱼草大概是自花传粉的植物吧？”

“不，它是虫媒花。”教授摇了摇头说。“不过，大小不合适的昆虫，是别想突破‘瓶口’，进去吃蜜的。”

“这么说，还要经过‘体格检查’了。”还是那个快嘴学生开玩笑，逗得大家哈哈大笑起来。

“嗯，可以这样比喻。”教授也笑了，他用食指轻轻地弹着花瓣的下唇说，“你们看，花瓣的下唇就好像翘翘板，如果飞来的昆虫太小，身体轻，踏不开花瓣的下唇，当然就进不去；相反，昆虫大了，踏开下唇不成问题，但是花瓣筒小，它也钻不进去；只有像蜜蜂那样大小的昆虫才合适，它既能踏开下唇，又能钻进花瓣饱餐花蜜，同时帮助传粉。”

教授深入浅出的讲解，使大家明白了金鱼草花的构造以及它是如何与昆虫传粉方式相适应的，一个个都在赞叹“上帝的设计太妙了！”

达尔文一直在旁边专心听讲，同时也在考虑着一个问题，这时他终于忍不住了，“教授，上帝是先创造出花，再根据花的结构才设计了昆虫，还是先创造了昆虫，再去设计花的结构呢？”

这个问题一提出，同学们就七嘴八舌地谈论开了。有的说上帝先创造了花，有的说上帝先创造了昆虫，有的说花和昆虫是上帝同时创造的，就连年轻教授也没法说清究竟谁是谁非。其实，达尔文当时也是从神学观念提出这个问题的。一直到 1859 年，他自己才得出了关于虫媒花问题的科学解答。

不过，达尔文这一问，倒是引起了年轻教授的注意。本来教授以为这个青年是来看热闹的，没有在意，现在他走过来问达尔文：

“你叫什么名字？学什么专业的？”

“我叫达尔文，喜欢自然科学，特别是生物学。但是我的专业是神学。”达尔文提到了专业时不好意思地低下了头。

“噢，科学和神学，从表面上看来，好像是水火不相容的，实际上是可以共存的。从哥白尼到牛顿，许多受人敬仰的杰出人物，他们既是伟大的科学家，又是神学家！”原来这个教授历来主张科学和神学是可以共存的，现在就用这个观点来开导达尔文。

想了想，教授又对达尔文说：“我叫亨斯洛，在我家里，每星期有一次爱好科学的青年和职员的晚间聚会。如果你有兴趣，请一起来参加。”

“那太好了！”受到这个邀请，达尔文高兴得几乎跳了起来，因为他早听说剑桥大学有一位通晓各学科，并且在许多学科上都有很深造诣的亨斯洛教授。

以后达尔文每次都准时参加亨斯洛教授家的小型学术聚会。参加聚会的都是一些爱好自然科学的青年和年长的职员以及一些当时的知名人士。每次散会他都是依依不舍地离开亨斯洛教授的家，并且经常对表哥说：“我从来没有见过这样博学、热情、诚恳的老师，真是相见恨晚哪！”

由于达尔文的勤奋好学，不夸夸其谈，观察事物敏锐，搜集标本勤勉，亨斯洛教授非常喜欢他，同他的友谊日渐深厚。人们经常看到他们在一起散步，讨论学术上的问题。因此，剑桥大学的老师们称达尔文是“同亨斯洛一起散步的人”。

不久，达尔文选修了亨斯洛教授的植物学课，亨斯洛教授每星期都要带着他和几个学生到近郊采集标本；每个学期还要长途步行到某种稀有植物的产地去采集标本，或者进行两三次旅行。他们坐着驳船沿乌斯河顺流而下，到那些沼泽地去作野外调查；或者坐着邮车到乌斯河上游甚至更远的地方去

采摘野百合花，在荒地上捕捉那种稀有的黄纹蟾蜍。

亨斯洛教授把整个大自然当作课堂，把旅行中遇到的每一种新奇的动植物，每一块有特点的地层都写成教材，具体生动地向学生们传授知识。达尔文发现教授在植物学、昆虫学、化学、矿物学、地质等方面的知识都是很丰富的。于是对教授更加钦佩，也更加努力地向他学习。

亨斯洛教授也像精心培育幼苗一样，注意保护达尔文的自尊心和对自然现象的好奇心。有一次达尔文在潮湿的板面上检查一些花粉粒，他发现花粉管伸出来了，他以为这是一个新的发现，马上跑去报告亨斯洛教授。他跑得满头大汗，十分兴奋地说：“教授，我有一个新发现，这花粉管伸出来了！”

对于一个植物学教授来讲，花粉管萌发是司空见惯的现象，哪里谈得上什么新发现，一般人可能会对这种少见多怪的神情感到好笑。可是，亨斯洛为了不伤害达尔文的自尊心，不给他的好奇心泼冷水，不但没有嘲笑他，反而高兴地说：“哦，你发现的这种现象是多么有趣啊！”

“是吗？”

“是的，花粉管是花粉粒萌发形成的。”亨斯洛把达尔文带来的标本放在显微镜下，让他看得更清楚些，同时解释说：“花粉管的产生，使精细胞和卵细胞的结合不再依赖水作为媒介了，这对陆生植物来说是很重要的，也是种子植物的主要特征之一。”

达尔文听了亨斯洛的讲解以后，一点也没有感到难堪，仍旧很高兴，不过他决定以后不再那样慌里慌张地去报告他的“新发现”了。

当达尔文在科学和神学之间徘徊，感到前途迷茫的时候，是亨斯洛教授使他作出了正确的抉择。达尔文遇到了亨斯洛就像哥白尼遇到了诺瓦腊，布鲁诺遇到了瑞理，牛顿遇到了巴罗一样。历史上，有许多独具慧眼的“伯乐”发现和帮助了那些有才华，有抱负的青年，使他们成长为伟大的科学家。他们的发现和无私的帮助不仅使那些青年走向了成功之路，而且他们对于整个科学发展的进程也功不可没，他们的名字也连同那些他们曾经帮助过的成功者的名字一起被刻在了人类科学史的里程碑上。

荒凉群岛上的伟大发现

1835 年秋天，达尔文乘坐的贝格尔舰结束了南美洲西海岸的考察，向一个名叫龟鳖群岛的地方驶去。几只海鸟在头顶上盘旋，远处的岛屿隐约可见。

龟鳖群岛，又叫加拉帕戈斯群岛。“龟鳖”的名字是 16 世纪西班牙人提出来的，因为他们看见这里有大量的大海龟，大的有 180 公斤重，需要七八个人从地面上抬起来，觉得很奇怪，就这样称呼它。

这个群岛虽然在赤道上，但是由于低温洋流的影响，并不像南美洲的同纬度地区那样炎热，不过雨水极少，土地贫瘠，到处是火成岩。干燥的低地上稀稀落落地长着一些灌木、小草和各种奇形怪状的仙人掌。群岛上布满了火山，有许多大大小小的火山口，有的火山口正在喷着浓烟、岩浆流过的地方更是寸草不生，显得十分荒凉。

可是龟鳖群岛有许多特有的动植物。它们强烈地吸引着达尔文，他在这里看到了许多从未见过的生物。

龟鳖群岛果然名不虚传，在每个岛屿上都可以遇到不少行动蹒跚的大海龟。这些庞然大物居住在干燥的低地上，只能靠吃仙人掌过活，如果能有一块潮湿地面，那便是它们的乐园了，在那儿可以吃到一些树叶、浆果和地衣。海龟是喜欢水的，可是它们在那一年只有几天下雨的干燥地带，也能生活下

去，因为它们能够爬行十几公里的路程去寻找到水源。达尔文曾经跳上一只大海龟的背，乘着它到达了一个靠近水源的地方，看到了一幅非常有趣的画面：一队已经喝饱水的大海龟刚要离去，另一队又伸长头颈匆匆地向水源前进。大海龟一到水边就一头伸进水面，贪婪地喝个不停，直到喝够了才肯离开。它们不但把肚子喝得胀鼓鼓的，而且在膀胱和心囊里贮满了水。当地居民在干旱地区行走，口渴难受的时候，就杀死一只海龟，喝掉它膀胱和心囊里的液体，以应生命之需。

“先生，您尝尝看，比得上你们的咖啡吗？”当地居民热情地邀请达尔文同他们共饮。

出于好奇心，达尔文品尝了它的滋味，然后说：“嗯，略微有点苦，但是很可口。不过，还是心囊里贮存的水滋味最美。”

“用海龟肉炖的汤就更鲜美了。我们都是流放到这里来的犯人，现在定居下来，主要就是靠这种龟肉过活的。”

“我们已经吃过龟肉了。头几天，总督劳森先生就是用龟肉招待我们的。他还告诉我们，从前西班牙人到这里来，就是根据这种海龟爬行的路线找到第一个水源的，”达尔文说，“劳森先生那天请我们吃的海龟是从詹姆斯岛捉来的。他说那个岛产的龟，它的肉比别处的要鲜美点。真是这样的吗？”

“是的，你们英国人劳森先生在这里居住很久了，他说詹姆斯岛产的龟肉味道最鲜美是确实的。我们一看龟背的形状和特点，就知道它是哪个岛上产的，肉好不好吃。”

达尔文听说不同岛上的龟形状不同，连忙问那些当地居民：“为什么各个岛上龟的形状不一样？”

“这个问题应该去问上帝，为什么不在每个岛上创造出味道同样鲜美的海龟来。”一个当地的居民说，“我们只知道从龟背的形状来识别它是哪个岛上产的，味道好不好吃。这对我们来说，已经足够了。”

那人的一席话，再次把达尔文的思想引到了那个“秘密中的秘密——新的生物在世界上初次出现”的问题上。一群彼此离得很近的岛屿，地质构造和气候条件都相同，高度也差不多，为什么同一物种的生物在各个岛屿上会不一样呢？他带着这个问题继续考察。

怪模怪样的钝齿鬣蜥，又使他想到了同样的问题。这种罕见的大蜥蜴分海生种和陆生种两类。海生钝齿鬣蜥长约 1.2 米左右，体重 10 公斤左右，趾间长有不完全的蹼，可是有强劲的爪子能牢牢地抓住海底的岩石。退潮的时候，它们常常和螃蟹结伴而行，以前来考察的人断定它们靠螃蟹和鱼生活。其实不然，它们完全是靠海藻生活的。陆栖钝齿鬣蜥虽然小一些，但是也有五六公斤重。它们经常进行日光浴，用自己身上的虱子盛情地招待反舌鸦。奇怪的是，它们不是分布在加拉帕戈斯群岛的每个岛上，却是集中在群岛的中央部分，并且只从中心岛分布到四周一定距离的地方为止，看上去好像是在这个群岛的中心岛上被创造出来的。雄蜥蜴身体的颜色也十分有趣，在一些岛上全是灰暗的，在另外一些岛上却是十分鲜艳的。起初，达尔文对这点感到迷惑不解，后来就开始思索加拉帕戈斯群岛的每个岛屿上是不是都有自己独特种类的生物呢？每个独特种类的生物是不是在各自生活的特定的环境中产生了变异呢？对鸟类的考察，使他的思想有了进一步的发展。

达尔文在这里一共采集到了 26 个类型的陆栖鸟类，除了有一种是从美洲飞来的，其中 25 种类型都是这个群岛所特有的。在采集过程中他发现，查理

士岛上所有的鸟都属于一个种类——三环反舌鸟，阿尔贝马尔岛上所有的鸟都属于最小的一种反舌鸟，而詹姆士岛和查塔姆岛上的所有的鸟却都是属于黑色反舌鸟。更加令他惊奇的是，同样的雀属鸟儿，在不同的岛屿上，鸟嘴的长短和粗细也都各不相同：又粗又大的是大嘴地雀，其次是勇敢的嘴最小的小嘴地雀，鸟嘴又细又长的是舍契德雀。从前到过这里的旅行家都来去匆匆，谁也不可能发现这样的秘密，他们根本没有想到在这些相距很近的岛上地雀的嘴巴会有这么大的区别。

回到贝格尔舰上，达尔文在船舱里对地雀标本进行了细致的比较。鉴定后对舰长菲茨罗伊说："根据我收集的鸟类标本，我敢说物种不是不变的。"

"真有您的，我的生物学家，您居然要推翻物种不变论了。"菲茨罗伊舰长很不以为然地说，"难道您忘了大科学家林耐和您的导师是怎么说的了吗？"

"他们都说物种是不变的。"达尔文说，"不过物种不变论是无法解释地雀嘴从大到小有这么多类型的。为什么在这些相距不远，甚至鸟鸣相闻的各个小岛上，会有各自特有的生物呢？"

"那是上帝创造的结果啊！《圣经》上不是说得很清楚吗？"

"那么，上帝为什么要这样煞费苦心地在不同的岛屿上把鸟嘴创造成粗细长短各不相同的呢？"

"这正说明了上帝的仁慈和智慧。"菲茨罗伊津津乐道地说，"又大又粗的嘴巴是为了在坚硬的岩石上啄食物有劲，又小又细的嘴巴是为了吃草丛里的食物方便。"

"为什么鸟嘴除了这种明显的区别外，还有介于它们之间的过渡类型呢？上帝为什么把加拉帕戈斯群岛上的生物创造成南美洲的类型却又不完全相同，为什么不按照我们英国的生物类型创造呢？"

达尔文连珠炮般地提出了一系列问题，问得菲茨罗伊舰长张口结舌，无话可说。他沉思片刻后反问达尔文：

"按照您的看法，应该怎样解释呢？"

"根据我的调查和反复思考，我认为加拉斯群岛上的生物是从南美洲迁移过来的。它们有的乘风飞来，有的是随着浮木漂泊而来的，有的是攀附在大鸟的脚上来的……可是，不管有多少物种能够漂洋过海，能幸存下来的总是少数。这就是为什么加拉帕戈斯群岛上的生物种类不像其他地区那样繁多的原因。"达尔文解释说，"这些新来的物种在环境条件的长期影响下慢慢地产生了变异，就发展成了现在的状况，它们不过是南美洲鸟类的变种罢了。这类变种是在远离大陆的小岛上特殊生活条件下形成的。因此，各个小岛上的鸟类都具有它们在南美洲祖先的某些基本特征，而又不完全一样。"

"上帝哪里去了？"菲茨罗伊生气了，"《圣经》上明明说生物是上帝创造的，物种是不变的，那么该把谁的话当作真理呢？上帝的，还是您达尔文先生的？"

"随您的便，我并不希望您把我的话当作真理，我只是尊重事实。"

事实证明，达尔文说的确是真理，进化论的观点就萌生在这个不起眼的群岛上。

谁是命运的操纵者

生物界中究竟谁能够生存，而谁又注定要死亡？是什么决定它们的命运呢？怎样揭示"秘密中的秘密——新的生物如何在世界上初次出现？"带着

这许多问题，达尔文广泛的研究各种资料，经过无数次的深思熟虑，终于找到了答案，并用 22 年宝贵的时光写出了一本名叫《物种起源》的书稿。

为了与别的学者交流思想，探讨《物种起源》，达尔文把他的亲密朋友、著名生物学家胡克博士请到家里。宾主坐在客厅的沙发上，一边喝着咖啡一边促膝谈心。

达尔文说：“根据我在环球考察期间观察到的大量事实，和我最近阅读的大批农业方面和园艺方面的书籍，思想上总算理出了一个头绪，我确信物种不是不变的，这和我原来的观点相反，我觉得自己好像是犯了大罪一样。”

“这不是什么新东西，查理（达尔文的爱称）。人类一直在创造新的植物品（物）种，还有各种赛马、信鸽的新品（物）种。”胡克道。

“可是那是人工的，是人们干预造成的。真正的问题是物种在自然状况下是否始终不变？难道它们就不会改变自己去适应变化的环境，产生新的形状、颜色和器官吗？”

“您是说，植物、动物，所有的生物，一直都在变化着？我看很多生物学家是不会接受的。”

“是的，由于物种在自然状况下的变导非常缓慢，不像在家养情况下那么容易产生变异，所以大多数生物学家一直没有注意到它们。”

说着，达尔文回到书房，把那份 300 多页的手稿拿了出来。他对胡克说：“这就是表述我全部观点的一份提纲。我不怕见笑，请您看一看。”

“啊！这么一大本，还仅仅只是一份提纲？”胡克接过手稿认真阅读起来，看到明显漏字的地方还给补了上去。文稿中关于变异事实的许多描述使他眼花缭乱，什么“相关变异”、“延续性变异”、“用进废退”、“获得性遗传”等新名词也反复出现。他感到有些迷惑，几乎无法理清自己的疑问，便合上文稿，准备向达尔文提出自己的疑问，才发现达尔文早已经离开了客厅。于是他就带着手稿向达尔文的书房走去。

“达尔文先生，我不怀疑动植物在家养下的变异；可是自然界的物种也会发生变异，我感到不好理解。”

“您大概不会否认，在自然界里分布很广泛的植物一般都存在各种变种吧？”达尔文想用胡克所熟知的植物例证来解释。“各个地方的气候条件是千差万别的，正因为此，分布在广大地区的物种便比分布在狭小地区里的物种所遭遇到的生活条件的变化多得多，于是也就呈现出比较多的变异。”

“那么动物呢？”胡克不满足的说，“动物可以到处走动，甚至能从地球的北部飞到赤道附近。”

“动物也不例外。分布广泛的物种总是出现比较多的亚种，比如老虎就有很多亚种。”达尔文看到胡克频频点头，他说得更起劲了。“更为有趣的是，如果一个动物器官发生了变异，它可以引起相关的另一些器官的变异，我把它称为相关变异。例如：无翅的动物，头也长；蓝眼白色的雄猫，耳朵一定是聋的；短喙的鸽子脚也小，长喙的鸽子脚很大。还有一个重要的现象是连续性变异，它指的是这样一种情况：一个器官朝着某一方向发生了一定程度的变异，而且引起变异的自然条件继续影响着它们的后代，那么，那个器官就会朝着同一方向连续发生变异。它同生（种）物的进化有着相当的密切关系。”“不过，现在流行的观点是：生物各种特殊的性状是造物主按照一定目的创造出来的，比如美丽的花冠是为了供人欣赏才被创造出来的呀。”

“如果美的东西完全是为了供人欣赏才被创造出来的，那在人类出现以

前，地球表面上就该远不如人类登上历史舞台以后那么美。”达尔文怀着少有的激动心情，据理力争说，“难道第二纪的有精致花纹的菊石，都是为了让人类在多少年代以后可以在陈列室里欣赏而被创造出来的吗？”

“造物主干什么去了？您认为是……”

“造物主？造物主可不在科学讨论的范围里。”达尔文把话题一转说，“我发现的是一种简单的途径，它使生物能够适应变化的环境，这就是自然选择。”

“自然选择，这不是自相矛盾吗？我听不明白。”

“我们都承认，自然界的每个物种都在为生存而斗争，为食物而斗争，我相信经过不断的斗争，一定会对每个现存的物种产生影响。”

“请您再说得具体一些，好吗？”

“就拿长颈鹿来说吧，我不同意拉马克说的是长颈鹿的意志或者愿望使它们形成了长颈。而在自然界中本来就有脖子比较长和比较短的一些个体，假如某一个时期，地面食物缺少了，只能依靠高处的树叶为生，那么脖子比较长的个体当然就容易适应变化的环境，有比较多的生存和繁衍后代的机会；而那些脖子比较短的个体很难吃到高处的树叶，也就容易被变化了的环境所淘汰。”

“哦，我明白了一些，但您能谈谈进化的机理问题吗？”

达尔文喝了一口咖啡，沉思片刻后对胡克说：“我承认，一切生物都有按几何级数增加自身后代个体数目的趋势。如果每个胚胎都能发育成活的话，按照几何级数增殖下去，不需要那么多年，任何一种生物都可以充塞整个地球，甚至没有容身之地。但是，自然界并没有发生这种现象，生物无限增殖的趋势一定会因食物和空间的不足而被遏制。繁殖过剩，而每个胚胎都力争发育成长，这就必然引起生存斗争……”

“等等，查理，动物界弱肉强食的现象是司空见惯的，强大的动物吞食弱小的动物，也有弱小的动物寄生在大动物身上，这种斗争很好理解。”胡克插话说，“不过，一切生物，还有植物也在进行生存斗争吗？”

“噢，我忘了说明，生存斗争这个名词是广义的、形象性的。生存斗争不仅表现为直接的肉体搏斗或吞噬，它在植物中即表现为争取空间和阳光的斗争，”达尔文补充说，“您刚才说的，在我看来属于种间斗争。另外还有种内斗争和生物同非生物的斗争，但有一点是可以肯定的，那就是只有环境的最适应者才能生存。”

达尔文看到胡克面部有些疑惑不解的神情，就举例说：“比如，生活在沙漠边缘的植物为抵抗干旱而进行生存斗争，积雪的山顶只有耐寒的生物才能生存，恐龙就是因无法适应气候条件急剧的变化而灭绝的，它可谓是生存斗争中彻底的失败者。这些就是生物同非生物的斗争。不过，我认为最剧烈的斗争是种内斗争，因为它们居住在同一地域，需要同样的食料，遭受同样的威胁。比如，两只虎在饥饿的时候互相争夺食物，强者能饱食一顿，变得更强大，而弱者只能拖着尾巴逃跑，甚至饥饿而死；同种植物密植在一起，互相争夺水肥和空间，强者出类拔萃，弱者凋萎而死。”

胡克好像听明白了，激动地站起来走到窗口扫视着奇妙的大自然。

不久，达尔文终于创立了进化论，详详细细地阐明了物种通过自然选择、生存斗争、适者生存而发生进化的过程，解答了生物界中谁能够活命的问题，发表了震撼整个世界的《物种起源》，彻底推翻了上帝创世说，引起了生物

学的一场革命。

这可是一条极其漫长的探索征途啊，不是一年，也不是 10 年，而是整整 22 年，他发表《物种起源》时，已经 50 岁了。作为进化论的奠基者，达尔文说：“作为一个科学家，我的成功，不管多大，最重要的是：爱科学——在长期思索任何问题上的无限耐心——在观察和搜集事实上的勤勉——相当的发明能力和常识。”的确，成功总是属于那些对科学事业坚韧不拔、锲而不舍的人！

2.发现神奇比例的孟德尔

在欧洲的城市里常有用名人的名字命名的广场：如法兰克福的哥德广场，萨尔斯堡的莫扎特广场等。同样，在原捷克斯洛伐克的中部摩拉维亚首府布尔诺有一个孟德尔广场。这个广场既是遗传学的发祥地，也是现代生物科学的发祥地。孟德尔就是众所周知的遗传学创始人。他正是因为发现了遗传中的神奇比例而成为流传千古的著名科学家。

艰难的求学之路

1882 年 7 月 22 日，伴随着一阵婴儿的啼哭声，又一个男孩降生在欣溪澈村一个普通的农户家中，怀着无比高兴的心情，父母为他起名叫孟德尔。

孟德尔小的时候就聪明可爱，特别好动。他不愿总是待在家中，经常让父母带他到农田中。趁父母在田中干活，他自己认真数着一棵棵小麦的叶子数，或是在田梗上采摘着不同的小野花，闻闻它们的不同香味，然后兴高采烈地向父母汇报一番，在得到表扬后就高兴地眨眨眼睛开心地仰起笑脸。

欣溪澈村有一所与众不同的小学校，除上课识字外，教师还要在农田里教学生果树栽培和饲养蜜蜂，到了上学年龄的孟德尔就在这所学校就读。初尝读书乐趣的孟德尔对课本特别钟爱，不仅学到了许多书本知识，而且因在同龄人中出类拔萃深受老师的喜爱。在老师的指导下他学到了不少动植物方面的知识。渴求知识的孟德尔，转眼已到了结业的时候了，可双亲还没有告诉送他到高一级学校读书的事，孟德尔心中着急，常常晚上睡不好觉。有一天晚上，刚刚想睡着的孟德尔被父母亲的讲话声所惊醒。

母亲罗辛娜对父亲安托说：“眼看小孟德尔就已经八岁了，我们应该考虑让他更换学校了。”

“应该是应该，可是……”父亲安托忧虑地说。

“可如果不让小孟德尔继续上学，那只能让他和我们一样当一辈子农民，受一辈子穷；而且他自己是那么渴望继续上学，看到如今他那失去笑容的小脸，我心中很难过。”母亲辛酸地对父亲说，声音有些哽咽。

“那让我再考虑考虑，你应该休息了。”父亲一边安慰母亲，也一边思考着。他想到了家里的实际经济情况和小孟德尔艰辛求学的身影，考虑到自己耕田的后继者，他没有轻易同意这种想法。

后来，观察到少年孟德尔非凡才能的班主任老师马基塔三番两次地劝说孟德尔的父亲，建议务必让孟德尔到高一级的学校去学习，父亲安托为了让儿子脱离开艰苦的农民生活，为了孟德尔的将来，终于下决心让孟德尔继续上学。

在 1833 年，11 岁的孟德尔终于如愿以偿地进入了皮亚里斯特尔学校的三年级学习；一年后孟德尔以班级最高的成绩和“优秀”、“超群”等评语

转入特罗保的高等中学去求学。

离开父母的孟德尔，小小年纪就已经开始尝试独立生活的滋味。他在离学校不远的地方租了一间最便宜房间，每天认真地学习数学、拉丁语、地理、历史、希腊语、宗教等各门课程，而且经常晚上借着微弱的烛光如饥似渴地读着从学校图书馆借来的自然科学书籍。因家境贫穷，孟德尔总是把生活费省了又省，吃着父亲隔几天从村子里送来的面包和少量奶油。有一次早上正在上数学课，同学们都在认真听讲，两天才吃了一个面包的孟德尔，对平时一听就懂的数学怎么也难以集中精力，只觉得老师的身影在讲台上摇啊摇，忽然眼前金星乱晃，身子往旁边一歪就倒在了地上。老师和同学赶紧把他送到医院，经检查才知道是饥饿所至。就是在这样艰苦的条件之下，孟德尔抱着对知识的渴望，对学习从来没有懈怠过，终于以优异的成绩完成了六年的中学学习。

中学毕业后的孟德尔被推荐到阿罗本次大学的哲学院去学习哲学、物理学、博物学等。阿罗本次的生活使孟德尔更体会到了人生的艰难。他必须自己筹措学费；于是他找到了一个家庭教师的工作，但是过度劳累、饥饿和营养不足，使他终于病倒了，这时他不得不辍学一个学期，返回故乡的小村庄去休养。到了秋天才又回到阿罗木次去上学。

大学毕业后，孟德尔经导师推荐到布尔诺修道院成了一名从事自然科学的修道士，在院长纳普的帮助下，孟德尔又先后到布尔诺哲学院去进修了农学课程，去维也纳大学留学学习了动物分类学、植物形态学、植物分类学、高等数学、化学、物理学等课程；这使他意识到植物学对阐明遗传法则有着极其重要的作用，学到了物理学严密的思维方式，掌握了当时一些先进科研方法。正是这些为他发现神奇的比例奠定了坚实的基础。

神奇比例的发现

为什么“ 种瓜得瓜、种豆得豆 ”? 为什么“ 一母生九子、九子又各不同 ”? 为什么每种植物都有区别于别种植物的独特特征，它们是否由某种法则决定着，那个法则又是什么呢？从维也纳大学留学归来的孟德尔时常被这些问题困扰着。

孟德尔有一个习惯，每天晚饭后就穿着神父的便服，在自己心爱的小植物园里一边散步，一边思考问题，每当这时，这个小小的植物园便把孟德尔带入了对往事的回忆中。

早在 1840 年,致力于生物学研究和发展农业的纳普院长在同年召开的全德农业学会上当选为主席，面对着来自全欧洲 300 多名学者，纳普说：“ 形成杂种并改良品种的方法需要很长的年月，这是因为不了解生物的遗传法则，所以我们无论如何有必要阐明遗传的法则。 ” 于是他在修道院后面建成了这个小植物园，并指定植物学家克拉谢尔修道士主持这项研究工作。后来孟德尔一到修道院就参与了这项研究，并不断地接受克拉谢尔的启蒙，认真地学习实验所需的植物专门知识。克拉谢尔广博的知识，不仅在生物学，还在岩石矿物、力学、社会学、哲学等方面的知识也给了孟德尔很大的影响。但刚刚与孟德尔相处一年的克拉谢尔因投身于民族独立的爱国运动而不得不终止这项研究，并建议纳普院长让孟德尔接管这个小园子，继续从事研究。临别之时，克拉谢尔勉励他，“ 你一定会成功！ ” 这句话时时回响在孟德尔的耳边，成为他不断奋斗的动力，也鞭策着他向前人未知的领域迈进。

结束散步的孟德尔，收起对往事的回忆，回到自己房间的书桌旁，苦苦

思考着实验的准备工作。因为在开始进行自然研究之际，仅糊里糊涂地做实验是毫无意义的。首先必须考虑好要解决什么问题，用什么做材料，采用什么样的方法进行实验以及如何处理其结果等。这些事都要事先计划好并根据这种方案来开展研究。现在，自己准备选择豌豆作实验材料对不对呢？两年多来的往事历历在目。

两年前，年轻的孟德尔刚从维也纳大学归来，精力旺盛，来不及休整就投入到自己的研究工作中。关于实验材料他考虑了豌豆、菜豆、玉米、紫茉莉、水杨梅、山柳菊、毛蕊花、金鱼草、楼斗菜、鼠类、蜜蜂等几十种，但还是举棋不定。通过查阅有关资料，翁格尔的著作给了他极大的启示。翁格尔确信植物的任何一种特性都保存在细胞之中，并通过以豌豆为代表的七百种植物进行了一万次的交配实验，获得了 258 个杂交品种，也得到了和父本、母本完全不同的杂交品种。

这样，孟德尔决定和助手一起选取豌豆为材料。助手不解地问孟德尔：“您为什么要选择豌豆？”

“实验植物必须至少具备三个条件：第一，具有不同的稳定特征，而豌豆的叶子形状有圆形和皱形，子叶颜色有黄色和绿色，花的颜色有红色和白色，这一条符合了。”孟德尔停顿了一下，加重语气解释：“第二，在实验材料的杂交种开花时，要考虑到别的植物花粉不能与之交配或采用人工的方法有效防止交配，这一点特别重要，而豌豆的雌蕊被其花瓣所包围，即使传粉时节不套袋遮蔽，别的植物的花粉也难以从外面进入；第三，杂种及其子代在庄稼成熟方面没有显著的障碍，这种情况豆科植物因花的结构特殊可以避免。与其它植物相比，豌豆有明显的优势。”

通过解释，孟德尔消除了助手的疑虑。于是，他们从种子商那里买来了 34 种不同的豌豆种子。经过两年的测试，他们从中选取了 22 个稳定的品种作为实验材料，这些品种都在它们的自花受粉形成的子代中表现出相同的特征。

四年的辛勤劳动换来的豌豆作材料是否真的合适？孟德尔又查看了英国人奈特，英国人戈斯和格特纳的论文，这些以豌豆为实验材料的论文又一次证明了豌豆是个好材料；老前辈克拉谢尔的“你一定会成功的”话语再次使孟德尔信心倍增。“对，就以豌豆为实验材料进行研究。”孟德尔从书桌前激动地站起来，果断地大声说。这时已经是 1856 年的一个深夜了。

科学的实验来不得半点虚假和懒惰。每年从春天到秋天，他天天全神贯注地监视着试验，认真记录着自己观察到的豌豆的七个相对性状（种子形状、子叶颜色、花的颜色、成荚形状、豆荚颜色、花着生位置、蔓茎高度），并且督促助手也认真记录结果，自己与他进行对照，发现观察结果不同，就重新观察，确保所观察记录结果的准确性。有一次，生了重病的孟德尔已两天未吃东西了，虚弱的他连站起来都比较困难，可到了观察时间，他硬是让另两个同事架着他到试验田中观察记录，直到昏倒在地上。正是这种坚韧不拔的精神使孟德尔积累了大量宝贵的科学实验数据。

面对 8 年时间积累起来的众多实验数据，具备扎实数学和物理功底的孟德尔没有被纷繁无序的数据所困扰。他不仅吸取了前人妄图一步登天的失败教训，而且天才地采取了由简到繁，循序渐进的研究方法，并且精密地采用了统计方法来分析实验结果。他决定先从一个性状着手研究，在弄清一个性状的规律后再研究两个、三个性状的规律。

对照、比较繁多的实验结果，孟德尔看到具有一相对性状的甲、乙两个品种进行正、反交时，即不论是以甲做父本，还是以甲做母本，它们全部都表现出了同样的结果。就拿高茎豌豆与矮茎豌豆间的杂交为例来说吧。不论是以高茎作母本，矮茎作父本（这在遗传上叫正交）或是以矮茎作母本，高茎作父本（这在遗传上叫反交），它们杂交后全部的第一代个体（即子一代），全部表现为高茎。以后子一代自交结的种子所长出的植株（子二代），除了大多数仍表现高茎外，又重新出现了少数矮茎。这是矮茎性状在子一代里仿佛暂时被隐藏了起来，直到子二代，它又重新出现。于是，孟德尔把那些杂交后在子一代中所显现的性状，如高茎、红花、黄色子叶等叫做显性性状；把那些在子一代中暂时不出现，到子二代中方才重新出现的性状，如矮茎、白花、绿色子叶等叫做隐性性状。这样孟德尔发现了性状的显与隐，但它们之间是否存在什么内在关系呢？

于是孟德尔采用统计分析的方法对子二代两种不同类型的个体数目进行了统计，这时他发现了一个令人惊异的结果：那就是这两种类型的个体数都毫无例外地呈现出一特有的比例——显性个体占 3/4，隐性个体占 1/4。先看种子形状吧。子二代中显性性状圆形的共有 5474 株，隐性性状皱形的共有 1850 株。两者间的比例为 2.96：1，它十分接近于 3：1。再来看一下子叶的颜色，子二代中显性性状黄色的共 6022 株，隐性性状绿色的共有 2001 株。两者之间的比例为 3.01：1，它也十分接近 3：1。孟德尔惊异之余，接着又一鼓作气地完成了其它 5 个性状的杂交实验。奇怪的是在这些试验里接二连三地都在子二代中出现了同一个神奇的比例 3：1。孟德尔惊喜地把这个结果告诉了助手，助手不信，又把子一代、子二代甚至于子三代的数据认真计算了一下，结果是两种类型个体间无一例外地出现了那个神奇的比例 3：1。

“子一代总是全部出现显性性状，而子二代又总是毫无例外地出现显性性状与隐性性状间 3：1 的神奇比例，这可能是偶然的巧合吧？”助手仍然用疑问的语气对孟德尔说。

“不，绝对不可能。”孟德尔坚定地说，“我认为这种情况的发生应当是意味着它本身就是一种遗传上的普遍规律性。”

“然而出现这种神奇比例的原因是什么呢？”助手又一次问道。

“是啊，原因是什么呢？”孟德尔又一次深深陷入了思考之中。

许多天来，孟德尔茶饭不思，夜不能寐，冥思苦想可总是不能找到圆满的答案。有一天，疲倦的孟德尔索性丢开了生物方面的资料，随手拿了一本化学书，忽然道尔顿的原子说吸引了他，原子说的主要见解是：各元素是由各个具有一定性质和质量的原子所构成的，这些原子相结合而形成化合物，另外化合物被分解时，原子并不失去其原来的性质而游离出来，而且在 A 和 B 两种元素相化合形成两种以上的化合物时，在各个化合物中，对一定量的 A 元素，B 元素的量成简单的整数比。举个简单的例子来说，氧原子和氢原子化合而成水，可是水分解后所产生的氧原子和从前的氧原子是完全相同的，而且氧氢之比为 1：2。这个学说一下子扣住了孟德尔的心弦，“如果将原子置换成遗传因子来看待生物又如何呢？”孟德尔眼前一亮，又重新思考起神奇比例的由来。

又经过几天的思考、归纳、整理，孟德尔终于找到了原因，他惊喜地把助手叫来告诉他：“我认为，首先生物的每一相对性状是由一对‘因子’来决定的（以后 1900 年约翰生又把因子改称基因），相对性状有显隐性之分，

我把显性用 D 表示，隐性用 d 表示，如果是纯亲本则为 DD 或 dd，而在杂种子一代 Dd 中，D 和 d 互不影响地共存。由于杂种子一代 Dd 在产生生殖细胞时，D 与 d 只是互相分开，不会丢失，这样一来，如果有一个生殖细胞里含有 D，那就必定还有一个生殖细胞里含有 d。因而不论是雌性生殖细胞，还是雄性生殖细胞，应当都有含 D 与 d 的两种，而且它们在数量上应当相等，各占 1/2。以后到受精时，两种数目相等的分别含有 D 与 d 的精与卵随机相遇，这将结合成为 DD，Dd，dD 与 dd 四种合子，它们将各占后代总数的 1/4。DD，Dd，dD 都表现为高茎，故占总数的 3/4，而 dd 表现为矮茎，占总数的 1/4。这就是神奇比例 3：1 的由来。”

后来，根据这神奇的比例，孟德尔总结出了带有根本性的遗传规律——分离定律和自由组合定律，这些定律就像一盏明灯一样，照亮了近代遗传学的发展途径，也为现代的生物工程奠定了坚实的理论基础。

是金子总会发光

1865 年，历经 8 年累积起来的实验成果公诸于世的时刻终于来临了，2 月 8 日和 3 月 8 日孟德尔分两次在布尔诺自然科学会的例会上向 40 多位植物学家、化学家、博物学家们宣读了他的论文，但人们对于新奇的杂交结果及其有规律的神奇比例越听越难于理解，讲演完后谁也没有对此提问题，也没有进行任何讨论，只是默默地向黑夜的街头散去。但是孟德尔没有气馁，他把实验内容写成长 45 页的论文发表在第二年的《布尔诺自然科学会志》的第 4 卷上，并命名论文为“植物杂交的实验”。

孟德尔的理论超越了当时学者所能接受的水平。当时是融合遗传的观点占统治地位，认为父母双亲的遗传特性在子代中融合在一起，呈现中间类型，像一杯墨水和一杯清水混合在一起，以后的世代中也不会有明显的分离现象。而孟德尔的理论认为遗传是由遗传因子决定的，控制各种性状的遗传因子在遗传中互不沾染，这是完全不同于融合遗传的一种颗粒性遗传的观点。另外，孟德尔用数学统计方法来分析实验结果，也超越了当时学者所能接受的水平。孟德尔本人对这一点也有一定的认识，他给他的朋友植物学家内格利写信时说：“我知道我所获得的实验结果是不容易同我们当代的科学知识相容的，既然如此，发表这样孤立的试验就是加倍危险的！”

孟德尔对自己的论文未得到承认并不气馁，仍然一如既往地工作和学习，并坚信“我的时代，即将到来。”

是金子总会发光，事隔 35 年后，即 1900 年，三位植物学家（荷兰的德弗里斯、德国的科伦斯、奥地利的丘歇马克）各自独立地经过多年的植物杂交工作，获得了与孟德尔 35 年前所发表的同样结果。整个生物界被轰动了，人们奔走相告，被埋没了 35 年的论文终于得到了世界的承认，孟德尔的名字也突然显赫于世，从此生命科学诞生了具有真正意义的遗传学科，孟德尔的论文闪烁着无穷的智慧之光。

3.基因列车的车长

1934 年，一位古稀老人在朋友家做客，特意拿出一瓶珍藏多年的好酒——白兰地酒，老人家像抱婴儿似地双手捧着那只酒瓶，细细鉴赏，并说那瓶酒的制造日期真凑巧。朋友听后马上问道：“您说的真凑巧，是不是意味着您出生在 1865 年？”老人回答说：“我出生在 1866 年，但是在母亲怀里的

我，是在 1865 年获得生命的。”这位从生物学角度巧妙作答的老人就是伟大的遗传学家、生物工程技术的铺路人——摩尔根。

奇特的“蝇室”

在哥伦比亚大学，有一间房饲养着成千上万的果蝇，这个房间被大学的师生们称之为“蝇室”，这就是摩尔根的研究室。

果蝇这种小动物以生长周期短，繁殖活跃，繁殖行为容易观察，迅速而且多产等优势被科学家们公认为进行遗传实验的首选材料。在窄小的“蝇室”中塞进了八张桌子，还有一张厨房用的台子，前来帮忙的学生就在那长台子上配制果蝇吃的培养基。最初果蝇的饲料是压碎的香蕉，为迎合果蝇的胃口，必须使香蕉发酵，香蕉发酵后臭味特别强烈，这使实验室的空气很恶劣。为了改善实验条件，摩尔根用香蕉汁取代了香蕉，后来又使用了市售的果蝇饲料，几经改进才使得实验条件得以缓解。在“蝇室”里还摆着一根可以来回转动的柱子，四面贴着染色体地图，人们用铅笔把各种数据像地名一样标到染色体地图中。

摩尔根很注意节省研究经费，这与他用自己的钱时那种慷慨形成鲜明的对照。他曾把自己的钱无私地提供给好几个家境困难的学生完成学业，但是实验室内的果蝇容器都是凑合着用的，实验装置也大体如此。有不少次实验室的人员为增加装置而遭到摩尔根的反对。从手拿放大镜装置换成简单的显微镜也是一点点进行的，显微镜的电灯罩子是利用空罐头的白铁皮加工成的。“蝇室”漏雨时，就用桶接水，气温低果蝇受冷时，善于发明创造的年轻人布里奇斯在得到允许后做了个简单的恒温器。由于摩尔根的实验，果蝇出了名，于是许多人提出了索讨果蝇株系的要求，摩尔根总是愉快而无偿地把果蝇寄出去，连邮费都不要。

在一个冬天的夜晚，饲养果蝇的大楼附近发生了火灾，果蝇差一点戏剧性的被报销了。消防车为防止火势蔓延赶到后，往楼上喷水。摩尔根看到火光后立即赶到，并朝喷水的地方奔去，有的玻璃窗由于被烤热已经熔化了，而果蝇的株系就在附近，情况太紧急了。冒着生命危险，摩尔根疾步登上六层楼梯到最上层的“蝇室”。当时要将装果蝇的小容器全部搬下去一个人是不可能的，于是他只好将果蝇的容器从已经热得难以喘气的建筑物的这一端移到最远的一端，直至火被熄灭。所幸火势未蔓延到大楼就熄灭了，果蝇安全无事，摩尔根长长地吐了一口气。

“蝇室”还有一个特点是混乱，没有秩序甚至是肮脏。可是精密的研究工作却在其中静静地进行着。他用宝石工匠用的放大镜数着果蝇，观察他们的特征。就是在这奇特的“蝇室”中，摩尔根十五年如一日，日以继夜地工作，终于完成了一项继孟德尔以后在整个生物学史中最令人惊异的生物学成就——遗传学基因连锁与互换定律。

创造“基因列车”

自从 1900 年孟德尔的工作被重新发现后，自由组合定律曾一再被证实，使人们感到它是不容置疑的遗传规律。但是，摩尔根做了种种考察后，对于孟德尔学说的全部正确性产生怀疑，具体来说，是对基因在条件内始终分离和独立进行重组这两点产生了怀疑。

有一次摩尔根偶然发现了一只白眼睛雄果蝇，就立即用红眼睛雌果蝇与之杂交。因为红眼睛对于白眼睛是显性，子一代应全部是红眼睛果蝇。但奇怪的是，摩尔根在子一代中又发现了三只白眼睛果蝇，为什么会这样呢？摩

尔根急忙又把那三只果蝇杂交了一次，仅 10 天的功夫，下一代果蝇就又生出来了。白眼睛雄果蝇后代相互交配结果产生红眼睛果蝇 3470 只，白眼睛果蝇 782 只，与孟德尔的分离比一致。但是有一个异常情况摩尔根仍然感到奇怪，这就是：如果照孟德尔式遗传的料想，在第二代中，雄蝇中四分之一和雌蝇中四分之一应表现隐性性状，但实际观察结果显示，雄蝇中半数是红眼睛，半数是白眼睛；雌蝇中表现了白眼睛的一只都没有，全是红眼睛。

新情况的出现，使摩尔根有了一个大胆的想法：眼色基因可能与性决定基因连锁在一起。于是摩尔根又设计出另一个实验来验证。实验材料是用子一代灰身长翅的果蝇和双隐性的黑色残翅果蝇，方法是把这两种果蝇的雄蝇与雌蝇测交或雌蝇与雄蝇测交，结果得到了都不是自由组合的理想比例 1：1：1：1，而前者 1：1，后者出现了“两多两少”的四种类型。想法终于得到了验证，摩尔根认为连锁现象的基因在同一条染色体上。伴性遗传的连锁基因在同一条性染色体上，一般遗传的连锁基因则在同一条常染色体上。而且雄果蝇中不能进行同源染色体的交换，故而只有 1：1 的比例出现；在雌果蝇中则进行了同源染色体的交换，故出现了“两多两少”的四种类型。

解释有了，可基因是否真的在染色体上，这需要有使人信服的证据，摩尔根在不安中又忙碌起来。看着老师的不安，摩尔根的学生斯蒂文特和布里奇斯也都十分着急，他们更加倍努力地工作，力求寻找这方面的真凭实据。1916 年，布里奇斯终于找到了铁的证据。他用白眼睛雌蝇与红眼睛雄蝇交配产生红眼睛雌蝇，并在显微镜下观察了它们的有丝分裂染色体情况，果然找到了使人信服的基因在染色体上的有力证据。斯特蒂文特也根据老师提出的基因间连接强度不同是由基因间距离不同导致的理论，天才地绘出了第一个染色体图。这些证据的出现使遗传中的连锁与互换定律得到了全世界的公认。

师生们异常高兴，极善言辞的斯特蒂文特在一次师生座谈会上调皮地对老师摩尔根说：“生物体中染色体很少，基因却很多，基因存在于染色体上，染色体是基因的载体，用个通俗的比喻，染色体就像是运载基因的列车，它永不停息地从亲代驰向子代，而您就是基因列车的车长。”从此摩尔根除了博士、教授的头衔外又多了一个新的头衔“基因列车的车长”。

4.看见了神秘的“螺旋梯”

我们居住的地球，有着得天独厚的优越条件。它温度适宜，水份充沛，土壤肥沃，四周还有大气层包围，这些都特别有利于生物的生存和繁衍，因而它可以称得上是生物的乐园。环顾地球，从高山峻岭到江河湖泊，从烈日炎炎的赤道到冰天雪地的极地，从干旱的沙漠到多水的沼泽，从 85000 米的高空到地下 2000 米深的地层，几乎到处都有生物的踪影。据初步统计，地球上的生物种类有几百万种之多；可以这样说，正是由于存在着这些种类繁多的生物，才使我们地球显得这样绚丽多彩、生机勃勃。

所有这些生物都有着一个基本生命现象——遗传，也就是种的繁衍。然而生物到底是如何繁衍的，是通过什么物质遗传的呢？经过一代又一代的科学家的探索，发现了名叫基因的遗传因子，然而这种基因的化学组成是什么，它的结构又为何呢？为我们解开这个谜的就是伟大的生物学家——沃森和克里克，他们的发现使当今的生物工程技术成为了可能。

梦幻组合

沃森是一位美国人，当他在芝加哥大学上学时，偶然的一次机会，他看到了著名科学家薛定谔写的《生命是什么》一书，他一下子被书中精辟的论述所吸引，心情相当激动，下定决心要向书中所指引的那样去寻找基因的秘密。于是他进入印地安那大学研究生院继续深造。刚开始他是刚刚获得诺贝尔奖的缪勒教授的学生，缪勒教授是用 X 射线诱发果蝇突变而进行研究的。沃森认为缪勒和他的学派对回答薛定谔的挑战没有很大帮助，于是沃森便转到卢里亚教授的门下攻读噬菌体遗传学博士学位。因为当时人们公认德尔布吕克和卢里亚两位教授在促进薛定谔关于生命物质的思想中起着重要的作用，而且这种名叫噬菌体的小小病毒是研究的理想材料之一。

沃森在那里经常受到卢里亚教授、德尔布吕克教授及其朋友的激励和指导，他吸收了一些早期的先进思想，同时，他也没有忽视生物化学。他认为如果人们要知道基因如何行动，必须先了解基因由什么构成的。正因为头脑中有了这些想法，沃森靠着一笔博士后研究员的基金去了欧洲，最后终于在 1951 年春到了英国剑桥大学的卡文迪许实验室。就是在这里，天赐良缘使他与克里克相遇了，并开始了现代生物学史上最富有成效，最激动人心，也许是梦一般的组合。

克里克是一位英国人，在伦敦大学获得物理学学位以后，他继续留在那里，在安德里德教授的指导下攻读研究生。安德里德教授是一位在物理和化学两方面都颇有造诣的学者。克里克的博士学位论文，最初是研究水在高温下（100℃以上）的粘滞性；但当第二次世界大战爆发后，实验室被关闭了，克里克和许多科学家及学生一道，参加了一个海军部研究实验室。整个战争期间，他与各个研究小组紧密合作，研究用于探测和引爆敌人水雷的电路操作系统，甚至在战争结束以后，他仍留在海军部从事粒子物理和应用于生物学的物理学基础研究。在这期间，薛定谔的《生命是什么？》一书对他的研究给予了很大鼓舞，书中给克里克印象最深的不是为探索新的物理学定律的浪漫号召，而是最基本的生物学问题可以用精确的概念，即“用物理学和化学的概念来考虑”这样一个论断。在读了薛定谔的书之后，他写道：“留给我的一个印象就是伟大的事情恰恰就在屋角周围。”在克里克看来，那些“伟大的事情”之一，便是伯尔纳新近对蛋白质和核酸所做的一种叫 X 射线结晶学研究；为此，他转到了剑桥大学与佩鲁茨一起研究血红蛋白的 X 射线结晶学。尽管克里克在与佩鲁茨合作之前对 X 射线结晶学一无所知，但他夜以继日地自修了这门学科的许多内容，并且读遍了许多科学家早期关于血红蛋白和肌红蛋白结构的研究文章。

一年后，克里克在剑桥出席了题为“狂热追求什么”的讨论会。在会上，他对前人在 X 射线结晶学研究中一直遵循的基本技术和模型提出了疑问。他认为血红蛋白分子比前人一贯所设想出来的帽盒状模型复杂得多。

如同他敢于对已确立的概念提出大胆的、不迷信权威的挑战一样，克里克也具有不断讨论和思考问题的习惯，也许正是因为这些，使他很快就把在 1951 年刚刚到达剑桥不久的年轻的沃森吸引到他的身边。以博士后研究员的身份在好几个平凡的生化实验室徘徊了两年之后，沃森终于发现了克里克同他一样对基因的分子本质感兴趣。这种智慧上的激励是直接的、有催化性的。正如沃森给美国的导师的信中所说的：“克里克无疑是我曾与之合作过的人中最生机勃勃的一个，而且极接近我曾见过的鲍林。他从未停止过谈论或思

考，而且由于我的许多时间是在他家里度过的（他有一位非常迷人的法国妻子，她很精通烹调），我觉得自己也富有生气了。克里克把大多数有志趣的年轻科学家都吸引到他的周围，因此，在他家的茶会上，我很容易遇到许多剑桥的知名人物。”

由于在学术思想上共同受到薛定谔的影响，所以沃森和克里克都用相似的观点来探讨生物学的问题，尽管他们的经历不相同。沃森是一位噬菌体遗传学家，他已经认识到，要想回答基因如何工作的问题，需要一些细胞化学的知识。克里克基本上是一位物理学家，对遗传学的兴趣，使他从事于生物学上重要的大分子的研究，那时，在他看来，遗传的分子主要是核酸。相同的志趣，使他们在相遇后不久，即决定集中力量揭示生物遗传物质的这个谜底，从此探索之舟扬帆起航了。

激烈的竞赛

科学技术的发展，使人们逐步认识到遗传物质可能是一种叫 DNA 的东西，但只有了解了 DNA 的结构才能揭开遗传物质之谜。20 世纪 40 年代，关于 DNA 的结构与功能的研究出现了新的突破。特别是有人于 1945 年采用了一种叫 X 射线衍射的技术，测出了 DNA 中一种叫碱基的物质，它们两者相隔为 3.4A°（1A°等于 10 亿分之一米），并指出碱基与 DNA 长轴垂直，从而清楚地得出了 DNA 具有结晶结构的结论。这一成果大大鼓舞了人们揭开 DNA 结构的热情，为此，除沃森和克里克外，还有两个小组也在马不停蹄地进行这方面的工作，与他们展开了激烈的竞赛。

其中一个小组是由著名的结构化学家鲍林领导的,他们在 1951 年公布了一种名叫蛋白质的α—螺旋模型后，开始了用分析 DNA 纤维 X 射线衍射照片的方法来确定 DNA 分子的结构。他们已提出了初步的 DNA 分子模型，但未进行综合分析。

另一个是物理学家威尔金斯领导的研究小组,大约在 1950 年左右开始了 DNA 的 X 衍射线晶相研究。他与他的助手富兰克林女士正处于十分有利的地位，完全可以与沃森及克里克在 DNA 结构探索中决一雌雄，但是缺少坦率合作和相互协调使他们丧失了机会。富兰克林拍摄了 DNA 的 X 射线照片，并对它作出了解释，然而她是个拘谨的实验工作者，不轻易和她的导师交流思想并分享实验结果，最终只走到了成功的大门边就停步了。

沃森和克里克在他们的合作中配合得非常出色，两个人都善于表达自己的思想，并且都赞赏对方，无拘束地提出新的想法，这是一对完美的智力的结合，权衡事实时既严格又敏锐。正是这样，他们在竞赛中走到了前列，并率先到达目的地。

看见了神秘螺旋梯

一旦决定了研究 DNA 的结构之后，沃森和克里克就试图设计一种分子模型，这种模型不仅要同 X 射线衍射资料一致，而且能够翻译生物体内两种叫自催化和异催化功能的现象。

1952 年春，克里克请年轻的数学家格里菲思为其研究的 DNA 进行了计算，表明在 DNA 的四个碱基中，名叫腺嘌呤（A）的物质趋向与名叫胸腺嘧啶（T）的物质连结，而名叫鸟嘌呤（G）的物质要与名叫胞嘧啶（C）的物质连结。就是说，这种专一的配对可能反映了天然的亲和力，就如同是亲兄弟一样。

1952 年，奥地利生物化学家查格夫访问了剑桥大学，会见了沃森和克里

克，但对他们的工作并未留下深刻的印象。不过，查格夫告诉他们，他对核苷酸的测量表明，腺嘌呤（A）的量总是等于胸腺嘧啶（T），鸟嘌呤（G）的量总是等于胞嘧啶（C）。当时沃森和克里克突然强烈地意识到查格夫的核苷酸 1：1 比例的意义，于是他们认真对待了。双环结构的 A 总是和单环结构的 T 配对，而无法与 G、C 配对，同样，双环结构的 G 总是和单环结构的 C 配对，而无法与 A、T 配对。配对就是互补，如果把 A 比作是双相插头，那么 T 就是双相插座；如果 C 是三相插头 G 就是三相插座，他们之间是 A 与 T 配对，C 与 G 相配。这使克里克想到这类配对可能成为分子复制的基础。查格夫的过硬的资料与格里菲思对碱基亲和力的想象是如此吻合，真是太值得庆贺了。

1953 年 2 月，克里克偶尔又看到了富兰克林的一些 X 射线照片，他立刻意识到这些 X 射线照片明显意味着 DNA 是双螺旋的。它的两股链是向相反方向走向的。克里克还认为，假使一条链沿某个方向走向，其配对的另一条链必沿相反方向排列。但是它们中间具体配对的形式是什么呢？

1953 年 2 月，沃森的同事多诺告诉他，按照碱基的生物学天然构型，A 只和 T 配对并紧密结合，由一种化学上叫氢键的力量粘连，氢键是一种结合力较弱的键，但在核苷酸的化学基因配对中是非常重要的。当这种氢键的 A—T 配对和 G—C 配对重叠在一起时，它们正好占据同等的空间。这时，沃森忽然想到这和查格夫的资料完全吻合：DNA 中所有的 A 和所有的 T 是等量的。于是，碱基的形状及其氢键亲和性的理论，DNA 的碱基组成的事实都非常协调地统一了起来。

在克里克对 X 射线照片的解释的基础上，克里克向沃森提出，他打算让碱基朝里，骨架在外。虽然他俩知道碱基是垂直伸出于 DNA 的糖一磷酸骨架上，但差不多直到最后它们究竟是向里，即朝向螺旋的中心轴，还是朝外突出，还不清楚。他们尝试在其模型中让碱基朝里。

1953 年 2 月 28 日，沃森按多诺的建议用纸板重新做出四个碱基的模型。两个互补对重叠得非常出色。当他们将其粘到两股链的每条骨架上构成螺旋并朝向里面时，它们搭配得非常完美。克里克马上看出，只有当两条链的走向相反时，才能这样配对。于是，现在的模型和 X 射线资料的要求相一致了。

1953 年 3 月初，沃森和克里克开始建立最后模型。每块都很容易地接合了起来。他们越来越激动，相信他们已经找到了正确的模型。他们狂热地把模型赶制出来，并邀请他们的同行来欣赏它、评价它。

1953 年 3 月 7 日，一批从其它实验室和伦敦来的专家访问了卡文迪许实验室。模型的完美和出色使大家承认了模型的建造者是正确的。

1953 年 4 月，鲍林来访，他观察了这个模型后，高兴地对沃森和克里克说：“太美妙了。DNA 的结构像个宝塔中的神秘螺旋梯的梯子。梯子的两边扶手是由名叫磷酸与脱氧核糖的两种物质相互连结而成的。中间的梯级则是由两条链中的二个碱基连接而成的。在 A—T 碱基对中有二个氢键把它们连起来，在 G—C 碱基对中有三个氢键把它们连起。这种梯子盘旋而上，每级转 36°，每十级转 360°。一个 DNA 分子大约含四千至三亿个碱基对，也就是说，这种神秘的螺旋梯通常有四千级至三亿级。你们太伟大了，你们是最先看见神秘螺旋梯的人。”

是啊，探索遗传物质之谜牵动了多少人的心，现在它们的神秘面纱被揭开了，人们终于看到了它的神秘所在：世界上所有生物的全部遗传信息都被包括在这里边了。

5.生物工程的又一座丰碑

生物化学的发展为生物工程技术奠定了坚实的基础，而李普曼这样独特的生物化学家大概再也不会有第二个了。他从事物的根本处反复思考，自由地面对事物，朴实无华。当然，最初看上去有些呆板，方法也有些笨拙。但他的成果却是绝品佳作。

李普曼提出了生物体内能量货币——高能磷酸键的概念之后，接着又发现了辅酶 A。因而他同克雷布斯一起荣获 1953 年度的诺贝尔生理学奖。李普曼的奋斗生涯，恰好处于生物化学发展的黄金时代，他为生物化学的迅速发展作出了巨大的贡献。正如科学史学家托马斯·库思在《科学革命的结构》一书中所说的那样，李普曼是众多的构筑了给科学发展带来革命的“范型”的科学家之一。

山穷水尽疑无路

李普曼 1899 年 6 月 12 日生于东普鲁士首都柯尼斯堡。这个城市是一个濒临波罗的海的工商业城市。据说哲学家康德终生居住于此地。李普曼的父亲是德国犹太血统的律师，母亲是犹太血统的波兰人。父亲作为犹太人却过着少见的隐居生活，因此，应该说他的事业并不成功。然而，由于他的人品受到人们的称赞尚可以维持家里的中等生活水平。母亲显然对自负清高的丈夫不满，所以把希望寄托在聪明伶俐的大儿子哈因茨身上。与满头金发的哈因茨开朗活泼的性格截然相反，比哥哥小两岁的暗褐色头发的李普曼却常因害羞、不善应酬而不讨妈妈的喜欢。于是他常常把父亲好友们送来的玩具火车和精巧的积木作为伙伴，独自玩耍。

李普曼兄弟性格相反却十分要好。哥哥总是关照着寂寞孤独的弟弟。小学四年结束后，他们都考入了柯尼斯堡的中学。高中是上大学的阶梯，对才华并不出众的李普曼而言，或许是犹太人重视教育的传统才使他考入中学吧。他在中学的九年里，拉丁语和希腊语成绩平平，然而李普曼从小就想当一名医生，因为他的舅父是小儿科医师，而且同少年时代的李普曼感情很深。李普曼敬爱舅父，也希望长大以后能成为医生。犹太人中很多人都是医生，同父亲交往的朋友中也常有很出名的大夫。因此，他 1917 年在德国高级中学毕业后，便考入了柯尼斯堡大学医学系。1914 年爆发的第一次世界大战，由于美国的参战而使德国开始失利。翌年，1918 年 5 月当时还是医学系学生的李普曼奉命赴陆军野战医院服役。大学复课后，李普曼进修完了医学系前期课程后，又来到慕尼黑大学上临床教育课。在这里，他学习了外科和精神病学，不过留下的印象最深刻的仅是在医学和生物化学之间架起桥梁的先驱者之一——缪勒的讲课。

在临床实习期间，他认识到医学的重要性，也开始意识到患者的健康和医院治病收款之间的矛盾。因此，对是否从事医生职业有了动摇。他常劝到家里来做客的医生们，去有名的医院接受实地训练是最重要的。不久他尊敬的舅父病逝了，而且这时父亲也看透了他不是一块善于社会交往的料，便嘱咐他去做自己想做的事。李普曼一边漠然地把基础医学作为目标，一边敲开了病理学家皮克家的大门。从此以后他的工作无非就是每天把尸体组织做成切片，午后放在显微镜下观察，以便精确地诊断病情。干了三个月，他就腻极了，终于决定另择出路。

“我想学生物化学。”当李普曼同皮克这样说时，皮克吃惊地举起双手，表示他的怀疑：“去干那种事？！”李普曼坚定地点点头。

已对临床检查感到厌烦的 24 岁的李普曼对柏林大学病理学的化学部门动了心，报名参加了特别组织的以医生为对象的为期三个月的物理化学和生理化学培训班，并获得了医学博士学位。

1922 年秋，仅靠父母的生活补贴已难以维持生活的李普曼幸运地获得了 6 个月的研究员基金，使他得到去荷兰阿姆斯特丹大学药理学教研室留学的机会。这是他在柯尼斯堡大学医学系时的教授恩斯特·拉库尔向他提供的，这对李普曼而言，远远超过了雪中送炭。

李普曼在拉库尔研究室期间，更加坚定了专攻生物化学的决心。不过他还不想立即寻找职业，因为他感到化学的基础知识还相当匮乏，自己又不想改变所从事的研究工作。父亲对他说，只要他走读，住在家中，总能让他吃饱肚子。母亲很不高兴，认为他已攻下了医学博士学位，就应该去当医生。1924 年之后的三年里，李普曼是在柯尼斯堡大学教授汉斯·梅尔维因化学教研室作为学生渡过的。而梅尔维因则是研究有机化学的离子反应而著名的化学家。可想而知，扎扎实实地打好化学基础对李普曼的以后的研究工作是多么重要。

柳暗花明又一村

ATP（三磷酸腺苷）是从细菌到人所有生物都适用的能量货币。连接在 ATP 末端上的高能磷酸键被水解时，便放出能量以满足体内各种活动的需要。生成的 ADP 和磷酸由于细胞的呼吸作用再重新合成 ATP，即腺苷—P～P～P 腺苷—P～P＋P+能量，提出 ATP 高能磷酸键概念的就是李普曼。

1930 年李普曼在菲舍尔研究所工作，这段时期他的工作卓见成效。李普曼的实验室非常宽敞，在这里，他全力以赴投入工作，研究主题是细胞的糖酵解和呼吸。所长菲舍尔——瑞典细胞生理学家从不过问他的工作。在研究过程中，他发现了乙酰磷酸，为高能磷酸键概念的提出奠定了坚实的基础。李普曼欢欣雀跃，把此结果发表在那一年 8 月 26 日出版的《自然》杂志上。后来，85 岁的李普曼回忆他研究乙酰磷酸这段历史时曾说：“当时那股兴奋劲成了我后来研究的原动力。”

随着欧洲局势日趋恶化，犹太人的处境日益艰难，拘捕犹太人只是时间问题。正在紧张之际，李普曼的一位故友从美国来拜访他，后来多亏这位朋友的帮助，他才流亡到美国。

在美国最初的两年里，李普曼的生活并不顺心。美国学术界对他口语迟钝的评价直接影响了他被录用的机会，他的英语相当糟糕。由于找不到就业出路，李普曼异常焦躁不安。

正当李普曼山穷水尽之际，一家制药厂的美国代表奥本海曼向他伸出了救援之手。经过一番周折，41 岁的李普曼成了麻省总医院的外科研究生。

麻省总医院是美国屈指可数的大医院，它同哈佛大学合作，所以薪金待遇同大学相对应的级别一致。病房和研究室相邻，迷宫似的走廊错综复杂，研究人员都处于临床和基础医学最前沿的意识之中。当研究人员穿过 1846 年最早进行乙醚麻醉的圆顶手术厅的时候，他们都有一种在美国的科学历史上也留下自己名字的感觉。也就是在这种氛围中，李普曼发现了辅酶 A。由于很难得到大量的实验材料，加之实验条件的限制，分离这种因子的计划一直未能实现。幸运的是有两位相当出色的年轻科学家慕名而来投奔李普曼。

三人齐心协力，从 5 吨肝脏中获得了约 150 毫克的纯品。这时已经到了 1946 年夏季，他们从提纯精制过程中挥发出的硫特有的臭味，断定因子中含有一种叫硫氢基的物质。

李普曼深信，这种因子的结构肯定与维生素有关。因为他知道维生素 B_1 等维生素衍生物具有辅酶的功能，而且他基本上猜到了这种因子中含有的维生素就是泛酸，李普曼用汗水换来的结晶分别送给得克萨斯大学的威廉斯等 6 位营养学家，请求他们用微生物检定法去鉴定其中是否存在泛酸。但所有的回信都是“不”。看过信的李普曼非常失望，转身走出了研究室，来到从医院门前流过的恰尔滋河边散步，以使情绪平静下来。

然而，幸运女神并未抛弃李普曼。威廉斯的助手在一个月后用已定为否定结果的样品又做了一次试验后，来信告诉李普曼，尽管极少，但可以肯定其中含有泛酸。李普曼和助手大喜过望，立即端起啤酒杯子痛快地干了一杯。不久，他们在使因子失活的酶处理样品中，确凿无疑地鉴定了泛酸的存在。这种因子后来被命名为辅酶 A。1947 年，在发现辅酶 A 得到承认之后，李普曼升任为哈佛大学医学系生物化学教授。哈佛大学生物化学教研室主任是位很有才干又公私分明的上司。当初，他很讨厌说话笨拙的李普曼，甚至不让李普曼上台讲课。而今，他却对辅酶 A 的工作给予高度评价，并提拔李普曼为专职研究员、教授。不仅如此，他还向诺贝尔奖评审委员会极力推荐李普曼。他认为“这是为了哈佛的荣誉”。

壮心不已

像许许多多卓有成著的科学家一样，对于日常生活李普曼常常显得粗心，甚至可以说随便。乘坐出租车时，他经常是下车即走而忘记付钱，这足以说明他实在是缺乏世俗生活的能力。幸好夫人芙莱达爽快敏捷，丈夫的一切都由她一手操持，甚至丈夫每天喝多少酒都由她决定。以至于有人说，没有芙莱达就没有李普曼。尽管如此，倒不是他对所有的事都这样反常，他从物质和精神两方面热心地关照他的部下，若不是这样，就不能得到众多的有能力的合作者的帮助。

1980 年以后，李普曼的研究室已成为来自中国、日本和韩国等亚洲研究者活动的小天地，主要题目是蛋白质的磷酸化和硫酸化。

每周的工作日里，他都从纽约的公寓来到研究室。当时他已达 87 岁高龄时还工作在第一线。之所以这样做，其奥秘在于他恪守“在分子水平解释生命现象”这一目标。李普曼常提出孩子般的质问，而且由令周围人们惊愕的思路出发，逐渐地形成框架，然后，再慢慢地不断修改，反复推敲，直至完善。一旦有灵感闪现，便立即试验，如果不正确，也随即放弃。然而几次不同的机遇都被他抓住了。他不是只按自己想象的罗列论据，而是有多方面思考的独特风格。

1986 年 7 月 17 日，李普曼发生轻度脑溢血。于是他让 4 位研究人员来到莱因伯克的别墅。在室外的餐桌上，他同助手们一边愉快地就餐，一边兴致勃勃地一直交谈了四个小时。那天晚上再次发病，他再也没有站起来，在昏睡之前，他写下了最后一句话“Ican’tfunctionanymore.（我再也不行了）”李普曼被送到附近的弗克普西医院，于 24 日早晨撒手人寰。他的夫人和儿子于 12 月 12 日在洛克菲勒大学的卡斯帕礼堂举行了李普曼追悼音乐会。他的骨灰按其遗嘱被撒在莱因伯克别墅的树林里，所以，他没有坟墓。

李普曼像大多数科学家一样，从不随波逐流、对前人亦步亦趋；也决不

允许自己抱着已有的答案和固定不变的观念不放。他总是永无止境地思考，在思考中点燃闪光的思想火花，不断地从新的事实中开创新的学说。这使他保持不断前进的活力，能够“青出于蓝而胜于蓝”，走前人没有走的路，做前人没有做的事，成为二十世纪的科学巨人。

他留下的精神财富——他的科学成就和治学精神将会像永不停息的生命一样，生生不息地在科学界繁荣滋长。

四奔向光辉的未来

大约 50 亿年前，茫茫宇宙中一团巨大的气体尘埃由于互相碰撞，相互结合，形成了一个独特的太空体系，现在我们把它叫做“太阳系”。又过了大约三、四亿年，原始的太空星云分裂、坍缩、凝聚，首先是星子形成星胎，然后长大，成为原始的地球。原始地球几亿岁时，由于内部不断升温而形成了分层，其表面也出现了大气和海洋。那时候的大气与我们现在所知的大气圈成分是不一样的。由于紫外线辐射而生成了有机小分子，再形成有机高分子，进而演化为细胞，生命得以开始和进化。

由于自然选择和进化的作用，地球上出现了人类这一新的生物种类。人作为“万物之灵”，在许多方面是有缺憾的，论力气比不上虎、豹，论速度比不上鹿、兔，论灵活不如猿猴，飞不上天，也潜不入地。但是在千万年的生存竞争中，她却顽强地生存下来，并真正成了世界的主宰。这是因为人类具有思维、学习的能力，会把长期的生活经验、知识能力一代一代积累并传授下去，这种知识的扩大再生产过程就是科学研究组织过程。

在漫长的历史长河中，人类发明了——火、石器、蒸汽机、电。现在人们借助自己的发明创造、既可以飞上天，也可以潜入海底，还可以到别的星球上去探险。新技术的综合创新，工业、农业、科学技术的发展，使人类的数目不断增长起来，我们周围的一切——水、矿藏、原油、粮食、土地，都被我们极大限度地使用着，甚至超出了她们再生产的速度。地球，这个人类的母亲向自己的儿孙亮出了红灯：“能源危机”、“资源危机”、“人口危机”、“粮食危机”、“环境危机”。科学界把它们叫作“五大危机”。如何战胜这些危机，已经成为当今世界各国，各学科科学家们瞩目的焦点。各国政府也纷纷投入巨资，动用大量人力、物力来研究和解决这些问题。

“21 世纪是生命科学的世纪”，作为生命科学重要支柱的生物工程，随着它的迅猛发展，必将成为解决这些危机的强大武器。

生物工程将使人类的未来如明天的太阳一样光辉、灿烂、多姿多彩。让我们满怀信心和憧憬奔向人类光辉的未来。

1.能源危机的克星

人们可能还记得几年前伊拉克入侵并吞并科威特，随后以美国为首的多国部队出兵解放科威特，并对伊拉克进行经济制裁的事件。一时间，炮声隆隆，飞机、舰艇、防空火炮粉墨登场，火箭、巡航导弹满天飞……

这一切的背后隐藏着一个不便说出的原因，那就是盛产于中东的石油。石油对于人类，特别是对于文明社会实在是太重要了。

因为汽车要跑，机器要开动，飞机要上天等等都离不开石油及其产品。石油、煤和天然气等是人类利用的主要能源形式，叫“化石燃料”，是古生物遗骸在地下经数十万年的演变形成的，但是它的储量是有限的，正如我们在前面所谈到的，在不久的将来就会枯竭。

因此，人们必须寻找新的能源来代替它。其中生物体能量的开发利用作为一种重要再生能源备受青睐，它是人类取之不尽、用之不竭的巨大能量宝库！

当然我们不可能像阿里巴巴那样，叫声“芝麻开门”就能打开这诱人的

绿色宝库，必须运用生物工程技术开发应用这些生物能源。

利用能源作物来生产乙醇

逢年过节，一家人团圆的时候免不了要喝酒，叫做“团圆酒”。其实酒的作用大着呢！酒中的主要化学物质叫乙醇，乙醇是可以燃烧的。因此，人们设想利用它来代替日益缺乏日渐昂贵的汽油。早在本世纪 20 年代，欧洲就曾在 400 万辆机动车上应用过酒精汽油混合燃料。据称，第二次世界大战中，德军的大部分汽车都是用土豆酒精作燃料的。

我们的祖先很早就知道利用糖和淀粉的发酵来产生酒精，在几千年前的古遗址里就发现过酵母的痕迹。现在人们广泛利用甘蔗和木薯的发酵作用来生产酒精，尤其是工业欠发达的国家和地区更热衷于利用本国的再生资源生产酒精。在巴西，80 年代初乙醇产量已近 $4\times10^6m^3$，1990 年便达到 $18\times10^6m^3$。据说千分之三的耕地资源种酒精作物就足够满足巴西全国的汽油需求量。即使像美国、澳大利亚、瑞典、法国这些工业发达国家也正在开始大面积种植适合本国气候和土壤的“燃料作物”，用生物工程生产酒精或从农业、林业上的剩余物和废料来生产酒精。

科学家们还在研究，利用遗传工程产生更有效率的微生物，改进生物催化剂，优化工艺设计等。总有一天，生物工程生产出来的酒精将会成为“化石燃料”的代用品。

甲烷发酵

我国南方各省农村自古以来就有制备草塘泥的习惯，利用微生物来分解河泥或其他草料等有机物，制备沼气，也就是甲烷。甲烷是一种清洁、高能量的气体能源。产生甲烷的可能途径有如下几种：可以利用城市污水的厌氧消化来获取甲烷，又能部分地解决城市的污水处理问题；或者是利用农业上或城市居民区的废物来生产甲烷，还可以产生富含氨、磷酸盐、微生物细胞的废水和残渣，是很好的肥料、土壤团粒结构促进剂、甚至动物的饲料，而且还可将有毒的致病的废物转化为无毒害的物质；第三个途径是利用动物粪便产生甲烷，这种方法古已有之，在印度、巴基斯坦和我国都比较普遍。

生产甲烷作为主要的气体燃料还存在一些技术上的问题。如成本低密封好的发酵罐、气体贮存器、发酵的效率等等。这些妨碍了大规模、工业化的生产。但是科学家们注意到反刍动物的瘤胃是最有效、最复杂的产生甲烷的系统。它通过许多种类的细菌、原生动物和小型真菌间相互影响的复杂体系来产生甲烷。可以预见，一旦这种体系在工业规模上模拟成功，将是能源工业的一大喜讯。

来自生物的氢

一到假日，满街都飘着五颜六色的气球，气球里充满了一种叫氢的气体。氢是一种优良的燃料，在火箭和航天器上都是液体氢作推进剂的。除了自然界存在的游离氢以外，用电解水也能产生 H^2 和 O^2，但是成本太高，用作能源是不可能的。人们发现，大肠杆菌、梭状芽孢杆菌、甲烷菌、光合细菌和藻类都能产生氢气。在目前的技术水平下，氢的产率还很低，不能适应工业化生产，还需要解决以下三个问题：

①寻找产 H^2 能力强，受别的因素影响少的产量稳定的微生物；

②把氢化酶或固氧酶的基因移入具有强光合作用能力而无产氢能力的微生物中去；

③用人工组合叶绿素利用光合作用过程产生大量氢气。获得大量低成本

的、纯净的氢气是指日可待的。

“化石燃料”来源于生物，人们也终将在生物界里解决能源危机。尤其是新兴能源的易再生性、无污染性，将使其无可争议的成为解决“能源危机”的最终手段。1992 年国际第 16 届能源会议也提出了“能源与生命”的主题。

2.又是一重“艳阳天”

俗话说“民以食为天”，这句话也恰如其分地表达了人类与食品之间的关系。由于世界人口的过度增长带来的第一个恶果是粮食供给不足。很多发展中国家，特别是非洲国家，粮食增长速度赶不上人口增长速度，人均食物消费水平极低，而且还在继续下降。如果没有合适的解决途径，饥饿将严重威胁非洲及一些欠发达地区，并将威胁到整个人类的生存。对于这个紧迫的问题，生命科学家们作出了响亮的回答：我们将开创又一重艳阳“天”。

女娲补“天”

古时候传说，不周与共工二神因为不和而争斗起来，结果不小心把天给打破了。有一个女娲神，便用自己的智慧和勤劳将破了的天修补好，人类才得以继续生存和繁衍，这当然是神话文章。而今粮食这块人民的“天”，却真正需要科学家们用智慧和劳动去补了，这就是绿色革命。有一个国际研究机构叫国际玉米和小麦改良中心。他们利用日本“农村 10 号”矮化基因的品系，与抗锈病的墨西哥小麦进行杂交，育成了“皮蒂克”、“盘加莫”、“索诺拉 64”等 30 多个矮秆、半矮秆品种。它们由于个头矮，具有抗倒伏的优点，同时也具有抗锈病、高产等优点。

上述品种在发展中国家迅速推广开来。如墨西哥从 1964 年推广矮秆小麦，短短三年就达到了年产 200 万吨，粮食产量提高 5 倍之多。再如印度引进这些品种后，1966 年到 1980 年粮食总产从 7235 万吨骤增至 15237 万吨，翻了一番，除满足本国需要外，还大量出口。

在我国科研工作者的辛勤劳动下，绿色革命也取得显著成效。1956 年我国开始起步这方面的研究开发工作，1965 年使亩产早籼从 200—250 公斤提高到 300—350 公斤，随后杂交水稻的选育和推广又取得了划时代的巨大成就，杂交水稻栽培面积由 1976 年的 225 万亩扩大到 1990 年的 23892 万亩，全国水稻平均亩产由 232 公斤增至 328 公斤。

如果能把粮食作物、经济作物像酿酒那样在发酵罐里大量培养就好了。其实早在 1939 年就有人从某些植物里分离少量细胞进行人工培养，使其成活下来，50 年代科学家已能通过细胞培养获得完整的植物。在培养基中，细胞可以有很快地生长速度，甚至可以像对待微生物那样，先在锥形瓶中生长，再转移至大的发酵罐中去。这种方法还使人们可以从单细胞培养出无性繁殖系，让它具有的优良品质充分发挥出来。

农民们常说：“庄稼一枝花，全凭肥当家”。可见农业生产中肥料的重要性。在植物生长所需的营养成分中，氮是很重要的。大家知道，空气中五分之四是氮气，但是氮素必须与其他氢、碳、氧结合才能为植物吸收和利用。而化学方法制备的氮肥成本高。由于能源危机，更使其生产愈加困难，许多发展中国家无力购买和使用更多氮肥，因而加剧了世界粮食的短缺。后来科学家发现大豆这一类豆科植物不需要施加氮肥也能生长得很好，它们自己也会吃氮气吗？进一步的研究表明，是一些固氮微生物在帮它们的忙，是这些

微生物和大豆的根生活在一起所致。现在，科学家们已经分离出大豆根瘤菌的固氮基因，把它们加到水稻、小麦中去，这样一来，水稻与小麦就无需人工施氮肥了。

随着人们生活水平的提高，对蛋、肉、奶的需求越来越多。科学家们想出了一个办法，让奶牛们多生孩子，并给它注射一种叫生长激素的东西，使产奶量提高 15—20%，还有人把生长激素注入 45 公斤重的猪中，90 天以后竟增至 94 公斤，而且瘦肉比例还大大增加，看来吃肉、喝奶也少不了生物工程技术帮忙。

顶“天”立地的好汉

随着科学技术的提高，不仅要能吃饱，而且要吃好，为此，人们提出了“健身食品”、“生理活性食品”、“健脑食品”等等，其中最著名的是“脑黄金”——22 碳六烯酸（DHA）。英国脑营养学家迈克尔·克罗夫特教授认为，“脑黄金”的缺乏会造成大脑发育障碍。后经日、美等多国科学家的大量研究，实验表明，DHA 参与胎儿脑细胞的生长发育，使婴儿先天聪明，可提高青少年的记忆能力，还可以调节血脂，防治动脉硬化，而且对预防心脑血管病，抑制肿瘤也有一定作用。我国一家中外合资的有限公司，直接从鱼头中提取 DHA 鱼油胶丸，北京一家科技公司研制的鱼脑精口服液，都进入了国际市场，其 DHA、EDA（20 碳五烯酸）含量均高于国外同类产品。

还有两种分别生活在淡水、海水中的单细胞藻类，富含营养成分和维生素。其中淡水藻生长快，海水藻能合成人体必需的 DHA、EDA。科学家们把这两种藻类通过细胞融合获得“杂种藻”，把它作饲料喂鸡，可得到富含 DHA 的鸡蛋，日本产业界还用作制造面包的添加剂，生产益智的色香味俱全的高级藻类面包。

开“天”辟地的先锋

尽管科学家们想了很多办法增加粮食产量，但人口的急剧增长问题，还不能在很短时间内获得解决。据世界粮食咨询组织 FAO 宣布，全世界至少有 25%的人口现在遭受饥饿和营养不良，今后尤其在人口增长最快的发展中国家将会更多。很显然，传统的农业不大可能最终解决这个问题——提供足够的食物，特别是充足的蛋白质来满足人类的需要。人们需要寻找新的蛋白质来源。目前，新的农业技术正在推广，高蛋白谷物已经出现，大豆和花生栽培面积正在扩大，尤其值得一提的是以微生物生产蛋白质的研究领域——被称之为单细胞蛋白质生产（SCP）。其实我们大家都吃过蘑菇，它就是一种大家广泛接受的微生物食品，只是大家司空见惯，现在突然要大家吃别的微生物可能难以接受。在很多国家早就用石油衍生物、汽油、甲醇、稻草、日常垃圾、污水等生产单细胞蛋白用作猪、牛、羊的饲料，已经节约了大量的粮食，因为饲养和培育动物大约需要 3—10 公斤谷物才能生产 1 公斤肉。有人做了一个有趣的比较：250 公斤重的母牛一天可增加 200 克蛋白质，而 250 克微生物生产蛋白质的能力却是惊人的，为 250 吨。

虽然现在这些研究还困难重重，但随着基础研究和应用开发的进一步发展，人们总有一天能够造就出强有力的工程菌株，它们能一步把各种原料转化为水溶性糖类，生产出可供人们食用的美味单细胞蛋白。

3.再造一个地球

莽莽自然界是各种生物赖以生存的环境。生物之间有一种相互依存，互相制约的关系。人是生物界的万物之首，人口的增长是历史发展的结果。人类总数的增加在历史上是有其积极作用的，在生产力极其低下的原始社会，人数的增加使分工成为可能，人们得以征服自然战胜恶劣的自然环境，生存并繁衍下来。由于没有意识到平衡体系中一种生物的过度繁殖，会对平衡产生迁移，甚至会带来灾难性后果。近几十年来，由于世界人口过度增长，造成食物短缺。为了养活过量的人口，原本贫穷的土地不得不超载耕作，超载放牧，毁坏了森林、草原，反过来加速了土壤的贫瘠化和沙漠化，生物的多样性受到破坏，也破坏了人类赖以生存的基础。

人口过快增长还带来就业问题。发展中国家劳动力供给人口基数大、增长快，与有限的就业需求形成尖锐的矛盾，不仅存在大量公开的失业人口，还存在着难以计数的隐蔽性失业大军。人口问题同时妨碍了人力资本的形成，在不少发展中国家妇女入学率低，就业无保障，难以获得医疗卫生服务等。大多数人口增长过快的欠发达国家里，人民生活极度贫困，与发达国家的差距越来越大。

据联合国预测，如果还不能有效控制人口，到下个世纪末世界总人口将达到 110 亿，甚至有可能达到 190 亿。人口迅速增长产生一系列经济、社会、环境的影响，威胁着人与自然间的平衡，可以毫不夸张地说，人口问题是人类生存与发展的头等大事，人口问题是人类面临的最大挑战，是人类最棘手最难处理的问题。

要想解决这个问题，不是光凭个人的力量，某个国家集团，或是某个学科部分科学家的力量可以战胜的，它需要全球每一个人充分的认识其紧迫性，并携起手来，共同发挥智慧和勇气去战胜这一危机。这一危机的解决从某种意义上说相当于“再造一个地球”。

首先要面对现实，着力降低人口增长率，实现适度人口目标。与自然资源、生态环境、经济发展、社会进步相适应的适度人口规模，才能形成人力资源，进而产生社会财富。人口生育率随着经济发展和社会进步而下降。发达国家的生育率下降曾经历过漫长的历程。

其次是加强力度，加快医药科学技术的发展，以适应急剧增加的人口对医疗方面的需求。医药技术的发展伴随着人类历史的发展的始终，尤其到了近、现代，物理学和化学的迅速发展，为人类诊断和治疗疾病提供了有力的武器。

1929 年，英国的亚历山大·弗莱明发现了一种青霉菌能产生一种对细菌有抑制作用的物质——青霉素，从而揭开了生物技术在疾病治疗上的新篇章。随后人们又陆续发现了生长激素、胰岛素、干扰素等，传统的方法是从生物体内提取，由于这些物质在生物体内含量极小，收集与提取都十分困难。过去要提纯一克的纯的生长激素，理论上需要一亿头羊的脑，而且提取十分困难。科学家们利用生物工程，把带有产生生长激素的遗传信息转移到大肠杆菌中去，用大肠杆菌培养液生产生长激素，却只需要 200 升培养液，而且提取极其方便。生物工程不仅能用来治病，还能防病。

我们小时候都种过“牛痘”，这实际上是一种疫苗，是由毒性减弱或活性减弱的活的微生物制品，它们引起我们身体的“防御”系统产生一种叫抗体的卫士，由这些卫士来消灭其它入侵者。目前，人们又在用生物工程来制造新的疫苗，如瑞士科学家获得一种伤寒杆菌的疫苗，美国和我国的科学家

在乙肝疫苗的研究中也取得了突破。除了用疫苗刺激人体产生抗体外，现在，人们还可应用“淋巴细胞杂交瘤技术”，通过组织培养瓶或新型的细胞培养罐，大量培养淋巴细胞杂交瘤细胞，使之产生多种多样的单克隆抗体。单克隆抗体在诊断治疗和预防疾病以及控制人体生理状态等方面，具有广阔的发展前景。在美国，单抗的生产 1980 年为几千万美元，而进入 90 年代，其生产达到了十几亿美元。

科学家们还在基因水平上对人体疾病进行研究，把致病的基因去除或补充新的正常功能的基因。可以相信，随着生物工程技术的飞速发展，“疾病”对于人类将成为一个历史名词。

同时，面对现有的人口状况，航天学家与生物工程学家还在共同设想另一个“再造一个地球”的星际移民计划。科学家设想，在一个不太遥远的星球，人们先利用生物工程改造其大气及地表状况，使那个星球能够适应地球上现有的动植物生存，然后大规模移民。在那里，人们还将会合理地利用资源和保护环境，不再像今天这样受到大自然的惩罚。

4.“小儿虽小威力大”

人类的发展经历了石器时代，并在寻找石器的过程中认识了矿石，开创了冶金技术。并一步步从“青铜器时代”到“铁器时代”。制钢工业的飞速发展，成为 18 世纪产业革命的重要内容。随着科学技术和工业生产的进一步发展，探矿和采矿成为重要的一环。

大家印象中探矿过程总是一队队身背挎包手拿小铁镐的探矿队员们餐风露宿，跋山涉水的形象。现在人们找到了一些好帮手，人们发现在一些特定的金属矿周围总生长着特定的植物，通过这些植物或是测定植物中的某些金属含量即可知道这里富含有什么矿藏。这样就大大减轻了探矿的劳动量，也提高了可靠性。

至于采矿和提炼金属，微生物更是大显身手。例如在铜的提取过程中，一般是把矿石磨碎后把含铜量高的矿石与含铜量低的矿石分开，选出来的叫精矿，再把它高温熔化，回收率很高，但是成本也非常高。如果矿石含量低时，别的方法都行不通，只有微生物沥滤法可以胜任。有种微生物可以把矿石中的硫化铜的铜游离出来，通常使用的一种叫氧化亚铁硫杆菌。人们只需将水洒在矿石上，空气中的氧和矿石中的酸性离子溶于水，供给氧化亚铁硫杆菌充足的营养，它们不断地繁殖，并把硫化铜氧化成铜和硫酸。然后再用电解法把沥取液中的铜置换出来。用于核工业的重要原料铀，加拿大、前苏联和印度也是用沥取法来大规模提取的。

微生物除了能从矿石中提取金属外，还能从工业废水、海水中提取金属。微生物细胞的细胞膜上含有负电荷，正好吸附带正电荷的金属离子。用微生物处理工业废水，既可回收金属，又可净化处理废水，一举多得。

除了与工业有很大关系外，微生物采矿也与人们的生活息息相关。我们平常所用的煤中就有含硫量高的煤，燃烧起来既有害健康也污染环境。如果利用细菌除去硫，就将大大地改善状况，还有的人利用细菌从硫化银溶液中回收银，或是用哈萨克斯坦细胞从砷金砂中提取金。科学家还利用一种生物技术在哺乳动物身上培育能与金、银、铅相结合的蛋白质，并利用此蛋白质来回收贵金属。

与微生物采矿相比，利用微生物工程技术来生产新的、更适应人类要求的、无污染可分解的新材料更能显示微生物的威力。

1930 年，德国物理化学家斯陶丁格经过 10 年研究认为，高分子物质是由具有相同化学结构的单体经过化学反应连接在一起的。对于他的这一观点，同行们从反对到认同，直到 1953 年瑞典皇家科学院授予他诺贝尔化学奖，从而建立了高分子科学概念。高分子材料能适合工业和人民生活各方面的需要，原料丰富，适合现代生产，不受地域、气候限制，因此已经成为国民经济和国防建设中的基础材料之一。

在众多的高分子材料中，生物高分子材料是其中最灿烂夺目的一颗明珠。因为其具有如下特点：①对环境污染极小或无污染；②能回收利用；③排放在环境中能溶化分解；④节约能源。对于用于生物体内或体表的生物材料还具有耐疲劳、耐磨损、与生物组织相容性好、不分解、不排斥、不致癌等特点。

欧、美、日本等国家很早就开始了这方面的研究。其中英国帝国化学工业公司利用微生物合成的聚羟基丁酸塑料、日本研制的含有 70%淀粉的新型塑料已具有生物塑料的特点，可用来制作一次性生活用品、轮胎等塑料制品。另外有一种木醋杆菌用葡萄糖形成的纤维素可用作人造皮肤、手术缝线、高档耳机材料、高级纸张等。用途广泛，还有比钢丝强度大 5 倍的蜘蛛丝蛋白，用于水果保鲜的壳聚糖……总之，生物材料已深入到我们的各行各业和日常生活的方方面面。

面对生物新材料的远大前景，美国麻省理工、马里兰、加州大学等一系列著名大学和一些大公司纷纷投入巨资研究开发。日本通产省、农业水产厅、科学技术厅和三菱、日立、川崎、富士通等政府部门和企业财团相继设立相关课题，法国、俄罗斯、印度、泰国、韩国、澳大利亚也不甘落后，用于这方面投资研究开发的项目众多。

目前进展较快的有以下几个方面：

利用细菌生产易降解的塑料类产品；

利用基因工程把厌氧产碱杆菌中的合成基因克隆到大肠杆菌中去，构建“工程菌”；

构建“工程植物”使生物材料产品像淀粉那样在植物细胞中累积。

从上面可以看出，生产生物聚合物不仅仅是对传统工业的继承，更是一种挑战，它们的研究与开发，其产品进入商业化，是当今社会发展的必需，也是保护环境的一项有效措施。这是一项“朝阳工业”，其实用性与社会效益性使之成为今后发展的必然趋势。

5.“黄土高坡”成为动物乐园

这里水草丰美，土地肥沃，一派生机盎然。鸟儿们在枝头欢唱，梅花鹿在树林里踱着方步，调皮的猴儿在树枝上跳来跃去，互相用野果打闹，远处还不时传来老虎雄浑的低音……

这不是什么森林公园，也不是什么电影片断，而是几百年前的“黄土高坡”。那时这里还是皇家的狩猎场，森林覆盖面积达 53%，真正是一幅世外桃源的景象。而现在，由于短短几百年的滥垦、滥伐、滥牧，数十万年的原始森林被毁，黄土丘陵和残塬区一片狼藉，70%的耕地土壤沙化，黄土高原

成为全国乃至全世界水土流失最严重的地区之一。然而这只是大自然对人类践踏自然规律、忽视环境保护的一个小小惩罚。

人类现在面临的环境问题，比过去任何一个时期都严重，随着工业化程度的发展，林立的工厂烟囱日夜排放着万吨计的废水、废气和废料；农村杀虫剂、除莠剂的广泛使用，造成土地、河流的严重污染；城市川流不息的汽车和一些科研基地，也在引起有害物质的外溢。“废水、废气、废料”已构成对人类生产、健康和生活的严重威胁，面对如此严峻的现实，人类又找到了一个克敌致胜的新型武器——生物工程技术。

生物工程处理“三废”系统之所以有效，全凭生物群落代谢能力的多种多样。微生物群落好比一个发酵罐，它们能把进入罐内的所有成分降解掉。科学工作者的研究已经证明，许多微生物都是清除有毒物质的专家。例如枯草杆菌、马铃薯杆菌能消除自身体内酰胺，溶胶假单孢杆菌有清除剧毒氰化物的能力，甲烷氧化菌可消除甲烷，腐臭假单孢菌可分解樟脑、水杨酸酯和苯等等。有些微生物还可控制由饮水传染的疾病，如伤寒、霍乱、痢疾等。美国已有一些公司将处理工厂废物和城市污水的微生物的培养物制成商品出售。总之，生物工程方法比传统方法安全、彻底、成本低。

1992 年联合国环境与发展大会提出“通过使用生物降解材料减少废物量，从环境中消除污染物，例如偶然的石油泄漏”。石油泄漏带来的环境污染是巨大的。1967 年，“TorryCanyon”号油船在英吉利海峡触礁，近 10 万吨原油泄入海峡，污染近 140 海里；1978 年超级油轮“AmocaCadiz”号在法国近岸水域失事，泄油 20 多万吨；1979 年美国海洋油井“Ixtocl”漏油约 47 万吨原油泄入墨西哥湾海水中，这些都使局部海域受到极大的油污染，造成灾难性的生态破坏。

因此，从 70 年代起，美国就开始研究用细菌消除海上油污染，他们通过对细菌石油烃降解质粒的研究，设想能培养一种降解各种类型石油烃的特殊细菌。这一设想，经美籍印度科学家柴拉巴提（Chakrabaty.A.）等人努力，已由设想变为现实，他们把能降解芳烃的质粒、降解萜烃的质粒、降解多环芳烃的质粒转移到能降解脂烃的细菌细胞中去，形成能降解大多数石油烃的“超级细菌”。

过去，人们为了解决农产品的害虫问题，发明了 DDT 之类的化学农药，曾经起到了积极的作用，但它是一般生物所不能降解的，长期积累可导致人畜受害。随着害虫的抗化学农药性越来越大，导致农药种类越来越多，但是害虫却难以减少。为此，英国科学家已研制出可分解部分农药的微生物，目前各国都在研制生物农药，大多已经取得了长足进步，在不久的将来生物“农药”可望全面取代化学农药。

随着人类文明的发展，环境保护已成为人类的共识，人类将更加有效地发挥自然调节与社会调节的共同作用：一方面增强环境生态功能，扩大环境容量；另一方面在保护现有生态环境的同时逐步补救过去对环境的损害。生物工程将再度大显身手。

人们可以应用生物工程提供丰富的蛋白质含量，提高农作物的单位面积产量，将滥加开垦的土地还给森林和牧场。生物工程将造出能在各种恶劣环境中生存的林草、作物，那时干旱、沙漠、盐碱土壤上也将处处披上绿装。

到那时，我们将看到“黄土高坡”又成为动物的乐园。人类的家园将如“上帝”的“伊甸园”一样美丽可爱：空气清新、鸟语花香、百花争妍、四

季如春。