

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

二十一世纪中小生素质教育文库(59)

生物工程



生物工程漫话

什么是生物工程

我们生活在一个知识爆炸、科技成为第一生产力的时代。大家对一些时髦的名词一定不陌生：计算机网络、信息高速公路、卫星通讯、移动电话等。那么，大家可能也对另一个时髦名词有所耳闻——生物工程。

如今，无论在发达国家还是发展中国家，生物工程都被列为优先发展的领域。它也是当前新技术革命的三大支柱之一。这三大支柱是：微电子、生物工程和新材料。科学家们预测，生物工程将在 21 世纪的高科技发展中扮演主要角色。

由于生物工程的发展，特别是基因工程的出现，人类进入了一个能按自己需要创造新生物的伟大时代，它的意义，绝不亚于原子裂变和半导体的发现。

世界范围内出现的“生物工程热”不是偶然的。它为解决世界面临的如能源、粮食、人口、以及污染严重等诸多难题开辟了新途径，直接关系到医药卫生、轻工食品、农牧渔业及能源、化工、冶金等传统产业的革新和新兴产业的形成，它的发展将极大地造福人类。

生物工程如此“热门”，如此重要，那么生物工程到底是什么？其实，它对我们来说也并不陌生。我们周围就有许多传统生物工程的产品：如食品类有面包、酸奶、乳酪、酱油、味精；酒类有啤酒、葡萄酒、威士忌酒；药品类有各类抗生素（如常见的青霉素、头孢霉素）、胰岛素、乙肝疫苗、小儿麻痹症疫苗、流感疫苗；生活用品类如奶酪、洗衣粉等等。

当然，生物工程这门学科还包括更多、更深奥的，还不为我们所知的东西。

生物工程是神奇的。但在这神奇的学问背后，还有诸多的学科作后盾，是它们的综合运用才产生了今天的生物工程学。

70 年代初，微电子学兴起，计算机开始应用，分子生物学、细胞生物学和遗传学得到不断的发展和完善。人们在此基础上，利用这些生物科学中的新成就，如基因重组、杂交瘤、固定化酶和细胞大规模培养等技术，结合了发酵和生化工程原理，开始以工业规模经营和加工生物材料（包括微生物、动植物细胞及其组成部分），为社会提供优质、廉价的商品和服务。于是，现代意义上的生物工程学形成了。

从生物工程的含义中我们可以看出，生物工程有两大突出特点：一是多学科的合作，二是与实际应用密切联系。这两个特点我们还将在今后的介绍中不断感受到。

生物工程的内容

生物工程在将来世界经济方面的作用如此振奋人心，它创造出的奇迹一个又一个，如此令人赞叹不已，是因为它有五个强大而富有生命力的技术系统：基因工程、细胞工程、酶工程、微生物发酵工程和生化工程。我们先看看它们究竟为何“物”。

基因工程

也叫遗传工程，或 DNA 重组技术。这一技术在生物工程中的地位举足轻重。基因工程简单地说，就是对不同生物的遗传物质——基因，在体外使用一种工具酶，用人工的方法，进行“剪切”、“组合”、“拼接”，使遗传物质按照我们的意愿重新组合，然后通过运载物质（质粒、噬菌体、病毒等）转入微生物体内或动、植物细胞内，进行无性繁殖，并使我们需要的基因在细胞中表达出来，产生出我们所需要的产物或组成新的生物类型。

这一技术于 1973 年在美国首次获得成功。当时斯坦福大学的科恩和旧金山加州大学的博耶共同实现了这一 DNA 重组实验。他们共做了三个实验，我们介绍其中的一个。

大家知道，DNA（脱氧核糖核酸）是细胞内的遗传物质，基因就是 DNA 的一个小片段。生物的一切性状诸如花蝴蝶美丽的花纹，翩翩的两翅之所以如此而不会长成其他的模样，都是由这小小的许多基因加之周围环境的作用形成的。

科恩和博耶将南非蟾蜍的 DNA 与质粒 PSC101（细胞内的一个细胞器，作为 DNA 的运载物质）连接，得到了重组质粒，然后把这个重组过的质粒植入到大肠杆菌的细胞里，于是大肠杆菌就产生出了原来本是南非蟾蜍产生的物质。

科恩和博耶重组 DNA 实验的成功，成了当今轰动于世的基因工程的起点，科恩和博耶也被誉为“重组 DNA 之父”。人类社会从此就能按照他们开创出来的方法，组构各式各样的工程菌，也能使它表达原来宿主的生物学特性，生产原不能生产的产品，提供原不能提供的服务了。

现在，人类作为进化程度最高的高级动物，可以通过一整套的基因工程技术，使人类所特有的产生胰岛素之类物质的能力，转移到进化程度最原始的原核生物——细菌的细胞内，还能在细菌里指挥和控制合成胰岛素的机器，产生出胰岛素，这难道不是人间奇迹吗？

细菌生产的人胰岛素在 80 年代就已投入市场销售，这也只不过是许多例子中的一个，还有许多生动的例子：如能自动脱毛的绵羊、超级鼠、巨鱼、用细菌生产的没有蛋壳的鸡蛋等等。基因工程的巨大潜力还等着我们不断去开发。

细胞工程

细胞工程这个名词也是最近几十年才时兴起来的，尤其是 1975 年英国剑桥大学的米尔斯坦发展了杂交肿瘤细胞技术以及单克隆抗体的作用，使细胞工程开始为世人所瞩目。

米尔斯坦和另外一位英国科学家科勒合作，经过一段时间的耐心探索，制定了自己的实验目标：他们取来小鼠脾脏用来制备浆细胞，再用它与骨髓瘤细胞进行融合操作，得到的杂交肿瘤细胞既能象骨髓瘤细胞那样繁衍，又能不停地分泌对付红细胞的抗体。由于小鼠脾脏细胞免疫后只分泌一种抗体，因此杂交肿瘤细胞在克隆化后，即无性繁殖后所产生的抗体是免疫性均一的，这就现在人们熟知的“单克隆抗体”。它确实是一个制造纯抗体的理想小工厂。为此，米尔斯坦和科勒获得了 1984 年的诺贝尔医学和生物学奖。

此外，丹麦科学家俊恩因提出了“克隆选择论”，在抗体多样性理论方面贡献卓越，也分享了这一年的诺贝尔奖。

单克隆抗体就像长了眼睛的枪弹一样，可以从千百个目标中，准确无误地选定一个敌人，是世界是第一个“生物导弹”。

80年代初，人们又巧妙地利用单克隆抗体的这一特点，设想在它的上面安装上化学药品，那么单克隆抗体就会像火箭飞弹那样，击中靶子细胞和癌细胞，达到治疗包括癌症在内的各种疾病的目的。到那时，人们就再也不用“谈癌色变”了。相信这一天已为期不远了。

目前，国外已研制出数百种单克隆抗体，已有相当一部分实现了商品化生产，除可以快速诊断我们人类的疾病外，动物和农作物也获益非浅。

5

讲到这儿，大家大概已经对细胞工程是怎么回事有所了解。这种把两个不同种类的细胞，通过化学、生物学或物理学手段，使它们融合而产生出兼备这两个细胞（亲本）的遗传特性的新细胞的技术，是细胞工程中重要的一个内容，称为细胞融合技术。细胞融合技术不仅包括上面所讲的两个动物细胞之间的杂交，也包括植物与植物细胞之间、丝状真菌与酵母菌之间、细菌细胞之间的杂交。如著名的马铃薯、蕃茄杂种就是植物细胞杂交的产物。另外像胡萝卜与大麦、大豆与玉米，甚至动、植物细胞间的杂交如家鼠与胡萝卜的细胞之间，都可以人为地结合在一起而产生出接受“双亲”优良性状的新细胞类型。前面提到的超级鼠则是人与家鼠的细胞杂交后获得的。

另外，细胞工程还有两项重要的技术，一个是细胞大规模培养技术，一个是植物组织培养快速繁殖技术。科学家们发现，植物细胞具有全息性，能从一个细胞或原生质体发育成为完整的植物体，当然，植物的各种器官组织也具备这一功能。用前一项技术生产的产品如一些天然药物、疫苗、烟草代用品等；而用一个康乃馨茎尖一年增殖100万株康乃馨、培养49天内就能开花的玫瑰、让兰花从“兰花工厂”中源源不断地大量生产出来，则是后一项技术——组织培养法的功劳。

酶工程

在初中化学中就已讲过催化剂。两种本不易发生反应的化学物质，一经催化剂催化，反应就能顺利进行了。酶也是一种催化剂，但不同的是它催化的是生物体内的反应，且它本身也是一种蛋白质；更重要的是，它的催化效率高得惊人，超出化学催化剂千百倍，而且是在常温、常压下进行，专一性极强。因此，我们可以设计一些特定的生物反应器，利用酶的这一特性，把相应的原料转化成对人类有用的物质。

酶工程就是这样一项技术。

早在1865年，被誉为“生物工程之父”的法国科学家巴斯德就通过实验观察到，葡萄汁被酿造成葡萄酒是一种酵母的作用造成的，而酒再变质，产生了醋酸或乳酸，则是细菌作用的结果。

后来人们发现，酵母菌和细菌之所以有如此奇妙的本领，是因为它们细胞内含有的某些酶。如果我们把这些酶提取出来，单独放在反应系统里，而不再用细菌和酵母培养，也照样能在体外完成生物转化的任务。

但是，天然酶也并非完美无缺。如它的成本高，而且由于它的转化反应

是在稀释液体中实现的，回收困难，只能使用一次；又如有时它的稳定性或生物活性不符合我们的要求等等。这样，又有了酶的固定化技术和酶的化学修饰及分子改造技术，这两项技术也是酶工程中的重要内容。

世界上第一个固定化酶是 60 年代初由以色列科学家 Katchalski—Katzir 装配成功的。他发现了酶并不在溶液中起作用，而是包在细胞膜或细胞器里面起作用的。于是他试着把酶从细菌中分离出来，再结合到具备一定性质的固体支持物上，或包埋于天然的（或人工合成的）膜上。他意外地发现，有些酶固定化以后，活性不仅未受影响，稳定性反而有了提高。由于 Katzir 对酶工程研究与开发作出了杰出贡献，“酶工程之父”的桂冠便戴到了他的头上。

目前，自然界中被检定过的酶多达三千多种，但只有约 100 种已经开发或投入商品生产。

微生物是工业酶剂的主要来源，而且产酶能力很高，如一吨发酵液得到的淀粉酶几乎与数千头猪胰脏得到的酶量相当，简直是个奇迹。而奇迹在生物工程领域的确“屡见仍鲜”，且每每令世人为之瞠目。

微生物发酵工程

人类利用微生物进行发酵的历史可谓由来已久，大家是否知道，烤面包和酿造葡萄酒等活动在几千年前就已经开始了呢？

早在公元前 6000 年，古代萨马人和巴比伦人已经知道喝啤酒了；“开门七件事——柴、米、油、盐、酱、醋、茶”，我国酱（油）制造始于秦朝，距今已有 2000 年历史了，而制醋则始于周朝，也有二千多年的历史。

但是，现代概念的微生物发酵工程是本世纪 40 年代随着抗生素工业的建立才兴起的。

从 50 年代起，柠檬酸、氨基酸、核苷酸、酶制剂、甾体激素、细胞蛋白和生物农药等独立的工业体系也相继兴起。这些看似复杂的产品，实际上都是人们利用微生物的特定性状，如微生物菌体含有丰富的蛋白质，微生物代谢过程中可以产生一些对我们非常有用的物质（象青霉素、头孢霉素、甘油、有机酸、维生素等），从而生产出对我们有用的物质。也可以把微生物直接用于工业生产，这就是现代意义上的微生物发酵工程。

按照我们应用的目的和范围，微生物发酵工程大致包括四个内容，即：对微生物菌体的生产和利用，如用淀粉、糖蜜、造纸废液、石油等作发酵原料生产单细胞蛋白；微生物菌种选育技术，如过去用物理或化学的诱变方法从原始的野生菌种中筛选出优良菌株，现在则幸运地有了细胞融合和基因工程技术，可以定向选菌种了；微生物代谢产物的生产和应用，如前面提到的氨基酸、抗生素、核苷酸、甘油等；对微生物机能的利用，如对有毒化合物和高分子化合物的净化、细菌冶金、化学转换、有机废水（渣）的处理，提高石油开采率等。这些小小的微生物，却为人类作出了不可估量的巨大贡献。

生化工程

前面的四个“工程”（遗传工程、细胞工程、酶工程和发酵工程）要真正成功运行，显然还需要一样必不可少的东西，那就是提供合理的设备和技

术的生化工程。包括生物反应器、传感器和生物产品的提取和精制技术。

生物反应器，即为活细胞或者酶提供一个恰当、舒适的反应环境，使细胞“胞丁兴旺”，不断增殖或形成所需的产品。这是生物技术开发中的一个关键性设备，与产品的质量、产量和能耗有密切关系。目前国外已经向大型化、多样化和高度仪表化转化了。

说到传感器，它作为生物反应过程中必不可少的“监督员”，担负着反应过程中参数的检测与调控任务，肩负着保证生物工程生产现代化、高效化的重要使命。

生物产品是精细产品，品种繁多，要求不一，每个品种都需要有相应的、合适的提取和精制工艺，因此生物产品的提取和精制技术也直接关系到产品的质量和效率。

我们看到，这五个技术系统并非各自独立、互不相干，而是相互依赖，相辅相成的。

在整个生物工程这个大系统中，基因工程是主帅，占有主导地位。因为只有用基因工程改造过的微生物和细胞，才能真正按照我们人类的意志，进行工程设计，产生出特定的生物工程产品；微生物发酵工程不可小觑，它常常是遗传工程的基础和必要条件；细胞工程经常与基因工程结合使用，而杂交肿瘤细胞技术具有可以与基因工程相提并论的地位；生化工程同样不可缺少，是其他生物工程技术转化为生产力的重要工具。

可见，正是这五个技术系统的有机结合，才使得今天的生物工程愈来愈散发出迷人光彩。

生物工程的发展

我们知道，没有一座大厦会在一夜之间拔地而起，同样，也不会有一门新学科的崛起能与渊源流长的历史割裂开来。

16 世纪波兰天文学家哥白尼著名的“天体论”开创了自然科学革命的历史；18 世纪末法国化学家拉瓦锡发现了氧气，从此便引起了化学的革命；英国达尔文的“进化论”使生物学观点来了个扭转乾坤的大转变；而奥地利的孟德尔发现的“基因分离与自由组合规律”，则开创了现代遗传学研究的先河。

可是，这些学科的奠基人的伟大成就，有赖于以往历代先哲们几百年、甚至上千年的探索和总结。以现代遗传学为例，人们一般认为始于 1866 年孟德尔的著名论文发表，而实际上早在数千年前犹太教典上就有了关于血友病的叙述；2500 年前，柏拉图就曾提出过改善人类社会健康状况的优生学计划。

所以，一门学科的诞生是漫漫历史长河汇流的必然结果，生物工程学也不例外。

让我们多了解一点儿历史吧，看看我们的先辈们是怎样把这门神奇的学问一步步发展起来的，这对我们学习和了解生物工程将大有裨益。

生物工程溯源

最早生物工程产品可以追溯到数千年前。那时，农业革命使原始人的粮食有了富余，于是为了贮存粮食，有时也想到要转化一些收获物，后来就发展成今天我们称之为发酵的工艺技术。

除苏米人即古代巴比伦人在 6000 年前就已经掌握了酿造啤酒的技术外，埃及人学会发酵面包是公元前 4000 年前的事，而我国殷墟出土的商代甲骨文中就有了和现代相似的“酒”字。

那时，人们制造这些东西总是离不开接种、搅拌、温度、时间和产品收取等一系列的操作工序。但是，人们还不知道酶在其中的作用，是微生物含有的某种酶使有机物发生了化学转化。古希腊人就曾把发酵说成是“沸腾”。

其他以微生物发酵为基础的生产，如发酵乳制品（包括乳酪、酸奶等）和各种东方食品如酱油、印尼豆酵饼等同样有着古老的渊源；而蘑菇的人工栽培则不太久远，如日本的香菇栽培是在几百年前开始的，现在世界温带地区广泛种植的伞菇大约有 300 年的历史。

这些大都有数千年历史的发酵产品，可以说是最古老的生物工程产品；那些人们在辛勤劳动中总结出来的微生物发酵技术，正是现代生物工程的萌芽。

现代生物工程之光

使这种凭借经验手艺的传统生物工程一跃进入有一定科学依据、能依靠当时的物理学、化学和遗传学进行初步分析的阶段，要归功于 19 世纪法国的大科学家巴斯德。

1883 年，巴斯德发现环境因素对微生物的化学活性有很大影响，并认为

用一定量的底物培养微生物,就会产生一定量的乙醇、有机酸和原生质体(细胞内凡有生命力的物质都可叫原生质体)。这对工业规模培养微生物有十分重要的意义。

今天人们生产和使用抗生素,是和巴斯德用蒜汁灭菌消毒一脉相承的。原来,我们平时吃些蒜来预防疾病的方法也有着不短的渊源。

1865年,巴斯德又用实验证实,微生物能利用铵和糖,合成出蛋白质类的物质。

一百多年后,单细胞蛋白工业证实了他这个伟大的预见,这也是人类历史上第一次的预言被证实。

巴斯德还有许多不朽的贡献。

今天遍布于世界各地的各种类型的发酵工厂,形形色色的生物工程公司,不正是根据巴斯德当初的科学发现和颠扑不破的真理建立起来的吗?有人计算过,仅巴斯德一人的发明所带来的经济效益,就足以担负普法战争中法国战败需支付的50亿法郎的战争赔款。而这时微生物学尚处在襁褓中,就有如此巨大的“魔力”,不能不令人称奇。巴斯德也因他的杰出贡献,不仅被誉为“工业微生物学之父”,还被誉为“生物工程之父”。他开创的工业微生物学就是现代生物工程学的两大起源之一。

分子生物学的诞生

孟德尔开创的现代遗传学是现代生物工程的另一个起源。

但是,有一段时期,现代遗传学和工业微生物学这两个系统是各走各路,互不联系的,有各自独立的发展过程。

19世纪后半期,人们开始把“种瓜得瓜,种豆得豆”这个老少皆知的遗传现象上升到某种理论高度。著名的豌豆杂交试验,是奥地利贫苦老农的儿子孟德尔在修道院里搞出来的,他在1866年发表了他的著名学说——性状分离与自由组合定律,而成为现代遗传学的开创者。

三十多年后,摩尔根在研究果蝇时,又在孟德尔的研究基础上,提出了遗传学的另一个重要规律:基因连锁与互换规律。

但是,当时人们仍无法解释,基因是怎么把活生生的生命体表现出来的。

事实上,当时的遗传学知识和所运用的手段还十分有限,而遗传学能发展到今天这种水平,还少不了物理学家和化学家们的贡献。

德国物理学家德尔布吕克,被誉为“分子生物学之父”。选择噬菌体作为研究对象,是他成功的重要原因之一。后来很多基因工程知识和技术发明,都与当初对这个只有细菌体积千分之一大的噬菌体的研究分不开的。德尔布吕克不仅开创了噬菌体的现代研究,而且发现了抗噬菌体的细菌突变株是有选择地发生突变的,而他这一不意发现竟成了细菌遗传学诞生的标志。

德尔布吕克的特殊贡献还在于,他把孟德尔的经典遗传学搬上了分子研究的舞台,而他创建的噬菌体研究小组的卓越成就,使得分子生物学最终瓜熟蒂落,呱呱坠地。

不久,德尔布吕克播下的分子生物学的“精神种子”开出了第一朵花,这就是第二次世界大战期间,从奥地利流亡到爱尔兰的著名量子力学创始人薛定谔写的一本小册子《生命是什么?》。这本小册子一时在欧美学术界掀起了轩然大波,使生物学成了一门时髦的学科,一大批年轻有为的物理学家

涌入到生物学这块园地里，威尔金斯和克里克也不例外。而他们两人曾在二战期间参加过美国的一项军事工程“曼哈顿计划”，参与制造了世界上第一颗原子弹。或者是由于害怕原子武器的巨大杀伤力而承担道义上的责任，他们才转而研究生物学。

在这一领域，威尔金斯拍到了第一张 DNA 纤维 X—射线衍射图。不想，就是这张图片，使得正在渡假的美国年轻遗传学家华生发生了浓厚的兴趣，为了更接近威尔金斯，他便进入剑桥的卡文迪许物理实验室。

然而，连华生本人也不曾料到，他这一行动，却和物理学家克里克走到一起来了，最终促成了 DNA 分子双螺旋结构模型的诞生。

这个制作精良、巧夺天工的模型，是华生和克里克这一对儿科学史中少有的合作典范共同努力的结晶，它酷似一座回旋式的楼梯，一对对碱基恰如一级级台阶，也有像莫尔斯电码一样的三个碱基为一组的遗传密码。

此后，华生和克里克又详细阐明了这个模型的巨大的遗传学涵义，从而提出了重组机理。这是 20 世纪生物学中最伟大的成就，它所包涵的普遍的遗传学意义，从大象到细菌是一概适用的。

华生和克里克也因此而成为举世皆知的名字。据说，“DNA 重组技术之父”博耶给家里的一对猫起的名字就是华生——克里克，可见其二人之盛名。从 1944 年埃弗利确认 DNA 是传递遗传信息的物质，到 1953 年华生和克里克阐明 DNA 的双螺旋立体结构及其深远涵义，历经整整 10 年。以这两个划时代的科学研究为转机，一门崭新的学科——分子生物学诞生了。

此后的 10 年，即 1953~1963 年，是分子生物学发展的黄金时期。序列假设、中心法则、遗传密码、乳糖操纵分子、变构相互作用等概念，更加丰富了这一学科的内涵，使它发出更加诱人的光彩。

但是，这些又跟工农业生产、医学等一些国民经济各个产业部门有什么联系呢？人们仍不清楚。

现代生物工程的腾飞

在 1970~1980 年这 10 年间，分析技术有了飞速的发展。如超速离心、放射性同位素标记、微量分析已精细到不仅能测定只有 10 毫微克蛋白质的初级结构，还能测定糖蛋白质中其他一些生物大分子的结构等；另外，当时人们已成功分离出了“分子手术刀”——核酸限制性内切酶。它可以在特异部位切割 DNA 分子；人们还制造出把切口封起来的供遗传学研究用的凝胶剂连接酶，在体外实现 DNA 重组的杂合质粒运载体也构建成功了。

这些技术发明武装了生物实验的测试手段，丰富了生物学知识，把微生物学家、酶学家和遗传学家们推到了这场生物学革命的舞台上。借助这些技术，人们不仅可能阐明某些酶的结构和功能，把固定化技术应用到各个产业部门中，还可以发现修饰 DNA 以及使 DNA 分子在生命机体之间搬来搬去的技术。

德尔布吕克等当初对噬菌体的研究，以及人们对大肠杆菌的研究、对质粒的了解、遗传密码分子遗传学、限制性核酸内切酶等关键性突破，正是把这些基因工程知识和有关技术有机结合在一起的“功勋元老”。也正是由于有了这样的结合，才迎来了使生物学研究成果崛起在产业舞台上的新时期。

那么，生物学与工农业生产，与医学等国民经济产业部门结合后，是怎

样大展宏图的呢？

我们先来看看近些年来发达国家生物工程的研究和开发情况，因为目前这些国家的生物工程进展还是具有代表性的。

我国生物工程现状

我国地大物博，每个炎黄子孙都为此自豪。而这个“地大物博”，正是我国进行生物工程研究的一大优势。地大，就是幅原辽阔，因而生态环境复杂；物博，就是生物资源非常丰富，可以利用的基因库面广量大。我国人民对于生物资源的利用和改造有悠久的历史和丰富的经验（如传统的发酵业——作坊式制酒、制醋），在农业、食品、酿造和医疗卫生等方面，都为人类做出过杰出贡献。

50年代初期，以抗生素的研究和生产为标志，我国开始出现了用生物原理与近代工程技术手段相结合的新型发酵工业；70年代，我国即开始了固定化酶的研究；稍后，又相继开展了分子遗传学和基因工程以及细胞培养、原生质体融合等新学科、新技术的研究。国家十分重视生物工程技术的发展，对其寄予很大希望。基因工程早在1978年就被全国科技发展八年规划列为八个优先重点发展领域之一，并在培养人才、支持科研等方面采取了很多积极措施，一批批的留学人员学成回来报效祖国，一座座的国家重点实验室建立起来。近些年在现代生物工程学新浪潮的冲击下，我国广大科技工作者在基因工程、酶工程、细胞工程及发酵工程方面不断取得新成果。但就整个生物工程领域看，除发酵工程、酶工程有一定基础外，其余还处在刚刚起步时期，尤其是在基因工程研究和开发方面，还有很长的一段路要走。下面，我们在与国外进行分析比较的同时，重点介绍一下我国近年来生物工程的发展状况：

微生物发酵工程

我国在微生物发酵方面是有一定的雄厚基础的。从古老的酱、醋、酒，到50年代初的抗生素，都在世界微生物发酵史中占有重要地位。现在，国外的发酵产品，我国基本都能生产，有些品种在活性和生产工艺方面还处于领先地位。

我国抗生素的生产数量已在世界上名列前茅。抗生素工业始建于50年代初，比最早的国家晚十年左右。我国的抗生素工业能发展到今天的规模，也是几代人艰苦奋斗的结果，但是与发达国家相比差距还是很大的。如菌种的生产水平不高，产品品种单调，新品种开发得还很少。

现代发酵工程自抗生素工业的建立而兴起后，氨基酸、柠檬酸、酶制剂、甾体激素、维生素、单细胞蛋白、微生物农药等独立工业体系也相继兴起。

氨基酸发酵是抗生素以外最大宗的微生物工程产品。其中，产量最大的要数谷氨酸（即味精）的生产，但是我国谷氨酸的生产在原料的利用率和转化率方面都比国外低约10个百分点，这样，成本就高了。比如，用甜菜和糖蜜作原料时，我国每生产一吨味精的成本是2400美元，而国外只用一半的钱就可以生产相同的量。日本是世界上最大的味精出口国，味之素公司、旭化成公司、协和发酵公司和武田制药厂都是当今生产味精的主要厂商，而我国上海天厨味精厂等一些久享盛名的味精生产厂，虽然产品也远销国外，但在生产效率等方面，与国外还有相当的差距。80年代中期，日本味精就曾以低于我国味精一半的价格出现在广州市场，他们还有如特鲜味精（肌苷酸）等产品，使我国味精面临严峻挑战。如今，随着生物工程的兴起，各国都在加

紧发展，试图依靠先进的技术占领更广阔的市场。

用发酵法生产维生素，我国生产的品种有 B₂、B₆、B₁₂、vc。我们生产 vc 用的两步发酵法新工艺，居世界领先地位，已经在全国推广。

我国在用微生物方法生产甾体激素方面也有一定基础，有了系列产品，其中上海药物所成功地把喜树碱（治疗癌症药物，但毒性较大）转化为 10—羟基喜树碱（毒性小），提高了对癌症的疗效，也属国际首例。

中科院微生物研究所研究出来的微生物多糖，可以作石油开采的注水稠化剂，也可以作钻井泥浆的悬浮剂，山东大学也研制出了与国外产品相似的微生物多糖，可以用来采油。我国在这方面的研究起步虽晚，但发展较快，很有前途。

我国人口众多，蛋白质缺乏的问题始终存在着，广大农村情况更严重。单细胞蛋白的生产对解决这个问题大有帮助。我国目前已有上海和华南的一些工厂在研制生产单细胞蛋白的酵母和利用有机废弃物生产蛋白质的方面取得了一些成绩，但未来的道路还很漫长。

沼气作为一种可再生的能源具有广阔的发展前景。我国堪称沼气大国，农村沼气池多达 700 万个，用来发电、照明、抽水、加工粮食、烧水煮饭等，经济效益显著。我国工业沼气起步较晚，但进展较快，已在一些城市工厂中推广。目前与国外的差距主要在技术和材料方面，但我们有信心赶上去。

微生物还能通过对石油及淀粉类物质的利用，生产出许多重要的化工原料。我国目前这类发酵产品有丙酮、丁醇、脂肪酸、苹果酸等多种，在国民经济中发挥了不小的作用。比如用十五烷烃酵母转化产生的两种物质可以用来合成麝香酮等香料，每吨产值可达数万元。

微生物冶金我国也有一定基础。利用微生物浸出铜、铀、钴、镍和锰等有色金属已经具有工业化水平了。湖南柏坊铜矿用这种方法把几十万吨的尾矿全部处理完毕，得到了价值一百七十多万元的铜和浓缩铀。象这种尾矿、贫矿我国还相当多，如江西德兴铜矿，贫矿和尾矿堆积如山，多达 111 亿吨，如用这种方法处理，按每万吨矿石浸出 6 吨铜算，可以多采 60 万吨的铜，价值三十多亿元！所以，我国微生物冶金存在的主要问题是迅速推广，对这项生物工程技术要给予充分的重视。

微生物发酵工程在生物工程新产业中，在国民经济中的地位都是不容置疑的。我国微生物发酵工业的产值在 1981 年就已经占工农业总产值的 1% 了，一些发达国家还更高些。尽快解决发展中存在的问题，使这一既古老又崭新的产业为我国经济的腾飞再立新功。

酶工程

在酶工程的研究开发方面，日本走在欧美国家前面，占据世界领先地位。1969 年，日本率先把固定化酶用于 L—氨基酸的工业化生产，从此开创了固定化酶工业应用的新局面。

我国对单一酶的研究是从 50 年代开始的。那么，经过了四十多年的发展，我国在酶工程方面都取得了哪些成绩呢？

在创业阶段，以中国科学院微生物所和上海市轻工业研究所等单位为主，开展了微生物—淀粉酶和蛋白酶的研究，并分别用于棉布退浆、酒精制造、皮革脱毛和丝绸脱胶方面。

到 60 年代中期，我国第一家酶制剂厂——无锡酶制剂厂建成了，奠定了我国酶制剂工业的基础。如今，全国有四十多家酶制剂厂、生产品种六十余种，酶也走进了我们的生活，加酶洗衣粉就曾风靡一时。现在产量较大的有一淀粉酶、糖化酶、异构酶、蛋白酶和脂肪酶等。这些酶的应用带来了明显的经济效益，如糖化酶的应用每年可以节省粮食二十多万吨，价值 8000 万元。

在分子水平的手术中作切口缝合用的工具酶——DNA 限制性内切酶，被誉为是基因工程的敲门砖。这种重要的酶，目前我国北京、上海等地已有批量生产。

1969 年日本固定化酶用于工业生产。1970 年我国开始开展固定化酶的研究，利用固定化氨基酸酰化酶生产具有光学活性的氨基酸方面，取得了一定成绩；另外，固定化酶细胞也应用在菜果酸、天门冬氨酸、半合成抗菌素和果糖浆的生产上。

1980 年起，上海工业微生物研究所和上海华光啤酒厂协作，把酵母细胞包裹在海藻酸钙中进行分批式、连续式和主罐式发酵啤酒，经过两年试验后，规模扩大了二百多倍，达 6.5 吨。这种方法有省时、省力、利于过滤等多种优点。

1981 年他们又进行了 10.5° 黄啤的批量生产，不久便有二百多吨投放市场；在分批发酵中，可反复使用 20 批以上，持续四十多天（国外先进水平可用几个月之久）。

现在，我国生产的酶制剂已广泛用于许多工业部门，对原有的生产工艺改革起到了很大的推动作用，在节粮、节能、改善劳动条件、清除环境污染等方面都产生了显著的经济和社会效益。例如，一淀粉酶用于饴糖生产，能节省粮食 1/10；糖化酶用于白酒和酒精生产，可以分别节省粮食 66 公斤/每吨、107 公斤/吨；把固定化技术和基因工程结合起来，可以同时去除污水废液里的多种有机物和有毒物质。我国科学工作者运用这种技术处理腈纶废液中的丙烯腈有害物质，去除率几乎达百分之百，而且这个去除丙烯腈的装置连续运转几年仍状态良好。

用固定化酶制作标准样式的盒式试剂及试纸，使用时方便、快速、简单。目前这种供简易诊断用的试盒、试纸在国外已实现市场化，但我国还主要限于大城市，而且仅在个别医院使用，远未普及。广大农村、偏远地区或缺医少药的小市镇是这种试剂、试盒最适用、最需要的地区，而且也可以作为家庭常备医药用品，进行自我诊断，具有广阔的市场前景。最近两年我国科技工作者加紧这种试剂和试盒的研制，已有个别试剂在市场上出现。

我国也在开发一些特殊性质的酶类如耐酸、耐碱、耐热等酶的方面，取得了很大进展。这方面的代表首推酸性蛋白酶和碱性蛋白酶，另外还有耐热一淀粉酶。

为改进酶分子的某些性质对它进行改造，是酶的分子修饰的主要内容。我国比较成功地进行了尿激酶的化学修饰，有很重要的临床意义。

总的来说，我国在酶工程的研究和开发方面取得了一些成就，但是比起国外先进水平还差得不少。品种少、剂型单一、提炼工艺落后是我们的主要问题。因此而导致的产品质量低、效率低、劳动生产率低而成本高、原料消耗也高，使得我们的产品无法与国外产品抗衡。面临严峻的国际竞争，我们只有加快步伐，努力发展自己。

生化工程

要把生物工程技术应用于工业生产，生物反应器、发酵罐、细胞培养器等生产器具就显得很重要了。这些反应容器的性能先进与否，直接关系到生产的成败，关系到产品质量的好坏。

近年来国外在这方面的发展趋势是大型化、多样化、高度仪表化。

生产抗生素的搅拌式发酵罐容积可以达到 400 立方米，生产谷氨酸的最大有 500 立方米，而生产单细胞蛋白的发酵罐则可达 4000 立方米！我国前两个数字却分别只有 100 立方米、150 立方米，而多数发酵罐是在 50 立方米以下的。

在生化反应中，搅拌是必不可少的，由于硕大的机械搅拌器要耗费很多能源，国外还大力发展了不带机械搅拌的容器罐，动力消耗减少了一半。这些反应容器在操作方式上多种多样，还有专供动植物细胞培养的反应器。我国在这方面则显得品种单调，反应器类型几乎是千篇一律的机械搅拌式，不过近年来这种现象正在改观。

为了及时掌握生物反应过程中的关键“信息”，以便检测、调控，国外对各种传感器进行了开发研究，开发出的近 20 种传感器有温度、罐压、粘度、浊度等；并常用电动或气动控制仪表进行生产过程的调控，计算机也越来越显示出它在这方面的优越性。我国一般工厂中只有温度、空气流量等基本的仪表，其他一些国外用传感器直接能从仪表读出的参数，往往要靠人工拿样品来测定。不过，计算机应用于发酵生产已开始，无锡第一制药厂、上海天厨味精厂都开始用计算机进行生产过程的检测和控制了。

我国在生化工程中的反应器和分离技术的研究开发虽然有一定基础，但力量还很薄弱，无法跟上生物工程新产业的需要。

从生物工程的发展来看，我国生物工程起步较早，并有一定基础，而且正在国民经济中扮演着越来越重要的角色。在这五个方面中，我国在某些方面还发展得相当不错，使我们充满信心；但从总体来看，我国在更多的方面与发达国家存在着不小的差距。目前我国面临着双重挑战：在国内，要加快发展国民经济，搞好社会主义建设；在国际上，要在激烈的国际竞争中站稳脚跟，加强我国的国际地位。这就需要我们抓紧一切有利时机，把经济搞上去，增强我们的综合国力。生物工程给世界带来的神奇变化和它具有的巨大潜力告诉我们，一个千载难逢的机遇已经来到了。面对国际生物工程的飞速发展，只要我们迎头赶上，就是抓住了机遇，经受住了挑战。

我们能够实现这样的目标吗？回答是肯定的。生物工程的开发有两个关键：一是生物资源，也就是基因库，这对我国来说是非常丰富的；二是科学技术人才和智力开发，我国这方面的人才也不少，他们经过多年的努力，已使我国的生物工程研究和开发有了一定基础，他们甚至也以自己的非凡才能取得了许多具有国际先进水平的成果。当然，一项宏伟的事业要经过几代人的艰苦努力，年青人正是发展我国生物工程很关键的一代，因为从 90 年代末到下个世纪 30 年，将是生物工程大展宏图的黄金时期。

细胞工程

自 1975 年英国剑桥大学的米尔斯坦教授发明了杂交肿瘤细胞技术以来，单克隆抗体已度过了它 20 岁的生日。现在，应用这种技术生产的单抗诊断试剂已有近百种投入或准备投入商品化生产了。

我国是在 1979 年引进杂交肿瘤细胞技术的，并在北京、上海等地首先开展了动物细胞融合工作。1981 年，第一株单克隆抗体杂交瘤细胞株建成了。这个细胞株能稳定地分泌对付北京鸭的红细胞的抗体；1982 年又建立了抗人甲肝蛋白的单克隆抗体杂交瘤细胞株；之后，我国科技工作者又陆续建立了十多个鼠间淋巴细胞和 B 淋巴细胞杂交瘤株，有些已经投入批量生产供临床诊断使用。

在细胞工程的某些领域中，我国处于世界领先地位，这使一些自恃科学技术先进的国家也不得不对我们刮目相看。例如在花药培养工作中，我国首先诱导出的植株就有四十多种。1971~1973 年，培养出来禾谷类如小麦、小黑麦等；1975~1977 年培养出了玉米、杨柳、橡胶等；1978~1981 年又培育出蔬菜、果树类的多种植株。

我国在禾谷类如小麦、水稻等粮食作物的花粉植株的育种方面花费了很大功夫。例如，80 年代中期水稻已有 81 个新品种、新品系在生产上应用；小麦有二十多个新品种、新品系培育成功，在生产上也已经见到了令人欣喜的成效，不仅缩短了育种时间，还达到了增产目的。另外，在玉米的花粉植株培育上，我国也领先于国外。名为“京花一号”的小麦，1983 年种植面积就达到 100 万亩之大。此外，在小麦等几种作物上用植物子房培养技术，我国先后获得了单倍体植物，这项技术我国发展也较快，在国际上处于领先地位。

利用植物的各器官组织有全息性的特点发展起来的植物无性系繁殖，在我国也取得了令世人瞩目的成果。用组织苗繁殖甘蔗，可以大大减少甘蔗的消耗，优势显而易见，目前我国用这种方法种植的甘蔗有数万亩；柑桔、马铃薯去病毒组织苗的成功，大大减轻了病毒病的危害，增产效果十分显著；我国人民自古以来对花情有独钟，如今人们喜爱的兰花、牡丹、月季、菊花、紫罗兰、百合等花卉，已经用试管苗的方法投产，甜叶菊已捷足先登，从上海行销全国了。

人参作为一种名贵的药材和补品，在我国历来享有盛誉。但由于其来源有限，价高量少，所以很难满足市场需要。日本是世界上最早用发酵罐进行人参细胞工业化生产的国家，我国目前采用类似微生物发酵工程的方法大量培养人参细胞也获得了成功，而且也同样保持了天然人参的药效成分。

原生质体融合技术方面，最早填补我国这项技术空白的是华北制药厂抗生素新菌种选育的工作。

用鲫鱼肾细胞无性繁殖出鲫鱼苗——这是中国科学院水生生物研究所通过核移植完成的，也是国际上的首例。

农牧渔业部长江淡水鱼类研究所的一项工作，通过对罗非鱼性别的控制，获得了超雄性罗非鱼。这一工作有什么意义呢？原来，全雄鱼群比一般雌雄混合鱼群可增产近一半！

通过吃海带补碘是防治碘缺乏病的一条有效途径。我国多数人口深居内陆，沿海地区捕捞的海带显然无法满足全国的市场。而山东海洋学院和海洋所用海带的雌雄配子的体细胞培养的单倍体商品海带，使我国人工栽培海带的产量大幅度提高，尤其给缺碘地区的人们带来了福音。

另外，用原生质体培养的方法再生成植株方面，我国也在国际上占有一席之地。烟草、胡萝卜、矮牵牛、油菜和紫菜等许多植物已经能用这种方法获得；还有种间和属间的杂种植株如普通烟草和黄花烟草、粉兰烟草与矮牵牛之间，用体细胞杂交后得到的新型植株。

我们可以看到，我国在细胞工程方面的研究和开发是令人鼓舞的，我们衷心希望我国的科学家、技术人员能再接再厉，为我国这项工程的发展再做贡献。

基因工程

1973年，美国的博耶和科恩首次成功地进行了DNA重组试验；1976年，第一家基因工程公司应运而生；1981年首批基因工程产品开始投放市场。

我国的基因工程研究开始于70年代后期，起步不算太晚，但由于基础比较薄弱，缺乏专业人才、器材和试剂，影响了发展速度。但我们的科技人员是勤奋的、充满智慧的，他们有在艰苦条件下创造成绩的光荣传统。

1982年5月，中国科学院生物化学研究所迎来了我国第一项激动人心的基因工程研究成果：人工合成Leu—脑啡肽基因成功了！并且实现了在大肠杆菌中的克隆和表达。尽管世界上第一项类似的成果是由苏联人在1979年12月取得的，但我国的实验是科技工作者们独立完成的，其重大意义并不会因此而减弱。

同年6月，生物化学研究所又宣布，将adr型乙型肝炎病毒表面抗原基因组，转移到大肠杆菌中无性繁殖成功（英国在1980年成功），为我国今天能独立自主地利用微生物大量生产乙型肝炎病毒疫苗以及其他产品，打下了良好的基础。

上海生物制品研究所继而宣布，他们从乙型肝炎病毒表面抗原的信息RNA开始，克隆了互补的cDNA，包括了抗原的全部编码顺序。这项成果在国际上也是首次取得的。

以上这些成果为我国进一步开展基因的人工合成和通过基因工程技术革新生物制品的生产打下了良好的基础，标志着我国乙型肝炎病毒疫苗的基因工程研究进入了一个新阶段。

此后，我国科技工作者在基因工程的研究中不断取得新成就：

1982年9月，中国医学科学院病毒研究所，用基因工程技术，在我国首次成功地组建了大肠杆菌合成人的 α —干扰素，这种干扰素与人和动物的细胞受病毒侵染后产生的干扰素一样，具有抗病毒活性。这一成果为我国进一步大量生产干扰素，迈出了可喜的一步。第二年，复旦大学遗传所再传捷报，他们获得了能使 α —干扰素克隆的酵母系统，使得表达水平进一步提高。

1983年3月，我国乙型肝炎的另一亚型——adw型又宣告无性繁殖成功，取得这项成果的是解放军军事医学科学院及其合作伙伴白求恩国际和平医院。

1984年，乙型肝炎疫苗的研制向正式投产迈进了一步，上海宣布乙型肝炎表面抗原基因在酵母中表达成功。

在国民保健和畜牧业上，抗生素是十分重要的医疗药物。我国抗生素已形成巨大的行业，每年总产量约一万吨，名列世界前茅。国外抗生素研制动向是继续筛选抗肿瘤等新型抗生素和发展 β —内酰胺抗生素。青霉素型的

—内酰胺和头孢霉素型的 —内酰胺是 60、70 年代后的主要发展目标，以效率高、毒性小而倍受青睐。用于 —内酰胺合成的青霉素酰化酶、头孢霉素酰化酶的基因工程由上海药物所成功完成，他们的工作比国外同行要出色得多。

同年，上海细胞生物研究所又实现了胰岛素基因在酵母中的高效表达。

仔猪黄痢疫苗最早是由荷兰的全国卫生研究所用基因工程技术造成后投放市场的，它也是世界上第一个基因工程方法制成的商品。上海植物生化研究所是较早在国内获得这一疫苗抗原 K₈₈ 基因表达的，他们研制的疫苗在防治小猪急性黄痢病方面取得了很好的效果。

去年可谓是国际生物工程界硕果累累的一年，其中也包括我国一项成果：由中国农业科学院和山东大学联合研制的世界上首例抗大麦黄矮病毒的转基因小麦，它对提高小麦产量将产生重要影响。

我们可以看到，我国在基因工程方面的研究已经取得不少可喜的成就，但是多数项目目前还只是处在实验室阶段，与国外的工业化程度相比，还差得相当远。

生物工程对人类的贡献

生物工程自登上产业舞台，的确已做出了不小的贡献。它的崛起，使人类面临着一个新的机会，去解决日益紧迫的能源枯竭、环境污染等严峻的社会问题。人们已逐渐认识到，过去依靠物理学、化学的基本原理建立起来的工业繁荣，其后果只能是资源、能源用一吨少一吨，而且环境的污染使得适宜人类生存的空间一天天地缩小。人类社会只有依靠生物学领域的工艺技术，建立起基础产业部门，才能走向真正持久的繁荣。

于是，重组 DNA 技术试验成功使得欧美国家乃至整个世界为之震动，它的潜在的工业应用价值给人们以梦幻般的憧憬。所以，一时间，欧美、日本等工业发达国家出现了一股当年著名小说家杰克·伦敦笔下的 18 世纪开发美国西部时的淘金热般的浪潮，各式各样的生物工程公司如雨后春笋般地建立起来。这些大大小小的公司不仅致力于生物工程技术的研究开发，还使许多生物工程产品源源不断地进入市场。下面，我们就给大家介绍一下生物工程在医药卫生、食品、环境保护、农业等方面的研究和开发情况。

人类健康的保护神

制药工业应该说是生物工程研究开发中最活跃、进展最快的一个产业部门了。用生物工程技术不仅可以生产出大量廉价的防治人类重大疾病的新药物，而且已引起制药工业的重大变革。

抗生素

抗生素是我们比较熟悉的一大类常用药物：如青霉素、链霉素、头孢霉素、氯霉素等。

抗生素用量大，如 1980 年几个主要发达资本主义国家临床用的抗生素产量为二万吨，我国 1981 年抗生素产量有九千多吨，产量相当高，只是大部分都是国外受控制的或已经淘汰的链霉素、四环素和氯霉素等。

在抗生素的生产中，有 80% 左右为半合成抗生素。而一种名为 一内酰胺类抗生素又居首位。这种 一内酰胺类抗生素是针对受到耐药菌感染的病人用尽了所有的抗生素病情依然不见好转的情况而使用的，而耐药菌则是以往由于长时间大量使用抗生素而产生的。人们在研究这种耐药菌时发现，原来这类菌产生了一些水解青霉素的酶，即 一内酰胺酶，这类酶导致了青霉素的失效。于是日本和美国的一些科学家们经过潜心研究，相继研制出了第二代、第三代和第四代抗生素。这也是人们成功运用酶工程的一个典型例子。

如今，国外大力生产的广谱 一内酰胺类半合成抗生素（青霉素、头孢霉素等），对一些革兰氏阴性菌和临床难以控制的病菌，如肺炎球菌、绿脓杆菌、脆性拟杆菌等引起的感染，有较好的疗效，而且是各类抗生素中毒性最低的。

品种的更新换代是目前各国抗生素生产的迫切任务，我国的抗生素工业存在的问题更急需解决。据上海市聋哑学校调查，约有 50% 的聋哑学生是链霉素和卡那霉素的受害者，这是多么可悲的事情啊！为了防止类似的事情再继续发生，我们就要尽快采取行动，提供给人们以无毒害作用的抗生素。国

外基因工程技术的运用已在半合成抗生素的工业中发挥了重要作用，正在为人类提供更多疗效高、毒性低的抗生素新品种做出贡献。

生化药物的生产

生化药物是制药工业中的一个重要品种。

生化药物由于来源于生物体，所以传统的生产方法是从生物体的器官、组织、细胞或血液、尿液中提取的。但是由于生物数量毕竟有限，所以价格昂贵、产量少，根本不能满足需要。现在有了基因工程技术，就可以用工程菌生产这些药物了。我们常用的工程菌有大肠杆菌、酵母菌、链霉菌等。这些工程菌不仅来源广，而且繁殖能力极强，如大肠杆菌繁殖一代只需要20~30分钟。所以用它们来生产药物，价格便宜，而且产量很大。另外，这种方法生产出来的产品非常纯净，与人工提取的相同，安全、无副作用。

1982年，美国一家制药公司宣布用2000升发酵液生产出100克精制胰岛素。可是，如果用传统工艺生产的话，这个量得从1600磅的猪、牛的胰腺中提取获得！而且，它的成本也只是传统工艺生产成本的30%。如今，已有千千万万的糖尿病患者受惠于这种用基因工程重组的微生物生产出的胰岛素。

著名的生物工程公司美国遗传技术公司，从两加仑大肠杆菌工程菌发酵液中，获得了五毫克人的抑长素（生长素释放抑制因素）。这个量相当于从50万头羊脑组织中的提取量，1979年他们实现了生长激素基因在大肠杆菌中的表达，每升发酵液生产两毫克人的生长激素。而生长激素作为人脑垂体合成的一种蛋白质，不仅具有促进人体生长的作用，还对骨折、皮肤灼伤、溃疡出血等疾病疗效显著。过去人们只能从人的尸体中提取它，600个尸体脑垂体的提取量才可以治疗一个侏儒病人。

干扰素也是一类蛋白质，是人或动物的细胞受到病毒感染后释放出来的，它可以保护其他细胞免受侵袭。

多年来，人们证实干扰素对防治多种病毒性疾病如狂犬病、乙型肝炎、水泡性口膜炎、呼吸道发炎、脑炎、红眼病等有良好疗效，另外对细菌引起的疾病和某些肿瘤疗效也较好。以前国外是用病毒感染人的白细胞来产生人的干扰素的，但白细胞来源少，干扰素产量低，浓度不到1%，且价格昂贵，难以推广应用。80年代初，欧洲生物工程和美国遗传技术两家基因工程公司，运用基因工程技术，在大肠杆菌和酵母细胞中生产出了三种不同类型的干扰素（ α 、 β 、 γ ），每升菌液获得的干扰素是每升人血的1200~120,000倍。据当时美国有关调查公司调查，干扰素上市五年后，仅在美国一年销售额即达30亿美元。

乙型肝炎疫苗最近几年已经推广使用，它对乙型肝炎的防治起到了很大的作用。它的价值是难以用金钱来计算的。

乙肝疫苗最早是由爱丁堡大学和欧洲生物工程公司在1979年研制出来的，不久法国巴斯德研究所等机构也相继有成果问世。将乙型肝炎病毒表面抗原基因克隆（无性繁殖），使它在大肠杆菌、酵母和哺乳动物细胞中表达，制成疫苗。这种方法消除了以往用带病毒者的血清制取疫苗局限性和危险性。

单克隆抗体的应用

自从 1975 年英国科学家米尔斯坦和科勒利用杂交瘤技术生产单克隆抗体获得成功以来，在短短数年内，这一技术便迅速发展起来，举世瞩目。它被广泛应用于免疫学、肿瘤学、病毒学、寄生虫学、药理学、流行病以及临床各学科中，在诊断方面所起的作用尤其突出，甚至被誉为免疫学上的一场革命。

前面我们讲过，单克隆抗体继承了双亲的优点，既能不断繁殖，又能像长了眼睛的炮弹那样只产生一种抗体。不仅如此，这一技术的优点还有：因为任何抗原都可以获得相应的单克隆抗体（单抗），所以人们可以在试管、瓶罐里或者动物体内，根据需要产生出任何类型的单抗；就是使用不纯的抗原，也能产生出纯净的抗体；它的特异性高、纯度高，不仅可以取代血清诊断，更有希望用于治疗；来源充足，优质的杂交瘤株苗一旦成功，就可以源源不断地提供大量的单抗；效益高、投资少，每毫升单抗诊断试剂售价 100 ~ 500 美元。诸多优点使单克隆抗体成为“时代宠儿”，单克隆抗体的新产业迅速发展。单克隆抗体在 1990 年的产值约达 5 亿美元。

现在，绝大多数的杂交肿瘤细胞取自小鼠，如果用人体杂交肿瘤细胞治疗人体疾病，无疑会更合适。利用抗体和抗原专一结合的特性，作为治疗或载运有效药物的“生物导弹”，将成为肿瘤等严重疾病的克星。

对癌症和遗传病的治疗

癌症困扰人类已多年，很长一段时间里，人们谈“癌”色变，但随着生物技术的迅速发展和完善，这种情形已开始改变了。DNA 重组技术把癌的病因学和发病机理的研究推向了一个崭新的阶段。

从 1981 年开始，科学家们已经分离鉴定出 20 种致癌基因，如我们经常听到的膀胱癌、乳腺癌、肠癌、肺癌、淋巴癌、白血病和肿瘤等。而且令我们吃惊的是，这些癌基因原来竟普遍存在于正常细胞中，只是一般情况下它处于静止状态而不表达，即不发生癌变，而当有外界致癌因素的作用时，它被激活，就使细胞发生癌变了。1982 年，又有两位科学家几乎同时地发现，膀胱癌基因与正常基因的差别，仅仅是在 6500 个基因的序列中发生了一个核苷酸的错位，从而产生了一种异常的蛋白。这种蛋白位于细胞内膜，结果就成了细胞异常生长的启动信号。

以往，由于对癌症病因不明，使人类长期处于和癌症在迷魂阵中打外围战的境地。今天我们对癌本质的认识，已彻底改变了这一情况。用基因治疗癌症的设想已提出几年。现在我们通过动物实验，已经能对几种靶器官（人们试图治疗的器官）应用基因转移和细胞移植技术，纠正因基因异常导致的某些恶性肿瘤。

遗传病与癌症的病因相似，是基因序列异常导致的，它又被称为分子病。因为它们大多数都是在 DNA 分子的水平上发生的，随着生物技术的发展，每年新发现的分子病近百种，预计到本世纪末可以达到 12,000 种以上。我国遗传病患者有二千多万人，给社会和家庭造成长期的沉重负担。因此，如何减少甚至消灭遗传病的发生，也是目前生物工程技术所面临的重大课题。国外采用的方法一般是产前诊断技术结合中期流产，把患儿消除于出生前。

从 1978 年开始，DNA 分析技术开始应用于产前诊断，1981 年后又发展到基因工程技术，使诊断速度和准确性得到了很大提高，已经可以直接阅读基因诊断遗传病了。更先进的是，用单克隆细胞表面特异抗体，可以直接从母亲血液中通过细胞收集器采得胎儿细胞，这样就可以直接发现最早期的基因突变了。

去年，美国科学家在人类第 14 条染色体上发现了老年性痴呆症的新基因，为人类揭开老年性痴呆症的病因开辟了新途径；而英国科学家用生物技术制成的混合药物在临床应用使艾滋病毒携带者及患病者的死亡率降低了 38%，被誉为近 10 年来艾滋病研究领域的最大成果；另外，科学家们还在小鼠身上发现了一种肥胖基因，并证明在小鼠身上注入一种蛋白后不节食也能减肥，这一成果极有可能为人类减肥药物的研制带来突破。

用基因途径治疗遗传疾病和癌症虽然还处在探索阶段，但它无疑是一种理想的途径，或者说是唯一的理想途径。我们都知道白痴是一种严重的遗传病，以往几乎是无法治疗的，但现在科学家们通过噬菌体把这种病人缺少的半乳糖苷酶转入病人体内的成纤维细胞中，结果几天后这种基因出现了！人体细胞代谢的这种缺陷得到了纠正。可见，基因治疗的确给人们以光明的前景，尽管它仍存在许多技术问题，但那只是时间问题，我们对它的前途是毫不怀疑的。

“绿色革命”的捷径

一场新的“绿色革命”浪潮正在世界范围内掀起。这就是依靠生物工程技术，在细胞和分子水平上研究动植物，使得农业产品在单位土地面积上不增加，牲畜、禽类等数量不增长的情况下却能大量增产的农业革命。

人类正面临着粮食匮乏和更优质食品的需求问题。据预测，到 2015 年，世界人口将增长到 80 亿，对粮食的要求至少要翻一番。而由于土地面积不可能大量增加，靠传统的增产方式是难以解决问题的，必须提高单位面积产量才行。生物技术正是解决我们这个难题的唯一出路，它在农业方面的应用，将给人类带来难以估量的价值。所以，现在世界各国政府和企业界人士都把农业作为生物工程开发的重点。

农业包括农、林、牧、副、渔，可谓“天宽地阔”，为生物工程技术的应用提供了一个极大的用武之地。下面我们就看看它在农业方面是如何施展本领的。

植物育种

现代遗传学研究始于孟德尔的豌豆杂交试验，是从植物开始的，并从此一步步深入，最终建成了分子生物学的大厦。而从分子生物学衍生出来的现代生物工程学，作为新技术革命的一个重要方面，现在又回到植物这个给了人类最丰富的营养、食品资源和工业原料的材料上来了。的确，植物与我们生活的关系是最密切的，但同时，它又称得上是基因工程研究和开发中最难啃的一块骨头。

这块难啃的骨头——运用基因工程改造农作物，一旦成功，无疑会给农业带来巨大的变化。

最近，这方面已经有了较大的进展：已完成了多种高等植物基因的分离，如大豆、玉米、小麦、大麦、水稻、菜豆储藏蛋白、玉米光敏色素等，使决定这些植物的重要性状的目的基因分离，为改进它们的性能提供了可能。Ti质粒是引起植物肿瘤的质粒，存在于根瘤土壤杆菌的细胞中，它使植物发生肿瘤，肿瘤细胞有非常强的自主性繁殖能力。植物基因工程师们于是就利用这些农作物的病菌作为研究材料，对它们进行一些基因操作，赋予这些病菌一些新的有益的特性，例如固氮、抗病虫害、抗农药、抗除莠剂等，同时又消除它们固有的形成肿瘤的有害特性。Ti质粒成为植物基因工程操作真正的传递遗传信息的载体。目前对它的改造已经有了突破性进展，很有希望成为双子叶植物的基因载体。而用人工构建的小染色体为媒介，实现基因转移，将有可能成为单子叶植物的基因载体。共生菌是生长在动植物体内且与人与己都有利的一类细菌，目前利用它的这一性质先使我们的目的基因重组质粒进入细菌，再让细菌在植物体内发挥目的基因的功能，这样植物的功能就得到了改进，目前这一工作已颇有希望实现。另外科学家们把病毒和类病毒作为载体的研究也取得了不同程度的进展，可谓前景光明。植物细胞染色体中镶嵌了Ti质粒的一段DNA叫做T—DNA，它除了有致瘤作用外，还有合成胭脂碱类物质等多种功能。如果把T—DNA经过实验操作，解除它的生瘤因素，再把真核或原核生物的一些有益基因插入到这种T—DNA上，再移入植物细胞里，这样就可以最终传递到下一代植株的种籽中。用这样的方法，健康的烟草植株就合成出了胭脂碱类的物质，它还同时具有后插入的那些有益基因的功能：如提高固氮能力、光合效率高、抗农药等。

植物细胞培养技术得到不断发展。因为植物细胞有“全息性”，即使一个细胞、一个原生质体也能发育成为完整的植物体。它对于细胞融合、导入外源DNA以及基因工程来说，是必不可少的重要基础。到目前，已有七十多种植物能用原生质体培养再生成植株，它不仅具有实用价值，同时也是一个理想的受体。1972年，烟草的体细胞杂种首次问世，到现在，不仅植物种内、种间、属间实现了杂交，甚至动、植物间、动物和人之间也实现了杂交。

在植物育种方面，已培育出了多种性状优良的新作物：1981年4月，美国威斯康星大学成功地把一种植物来源的基因（储存菜豆蛋白质的基因）经过根瘤土壤杆菌转移到向日葵植物细胞里，再生的向日葵就具有了菜豆蛋白的特征，而且还能遗传给子代，这就是被称为具有菜豆特色的向日葵——“向日豆”。它与口蹄疫基因工程疫苗一起，被美国农业部列为当年美国基因工程的两大突破，预示着植物基因工程的美好未来。

1982年，美国孟山度公司和比利时的根特大学又成功地把细菌的抗卡那霉素的基因，用Ti质粒转入向日葵、烟草、胡萝卜等植物细胞里，它们就在那里表达，长成了植株，而且也能传给它们的“儿孙”。这些植物免遭抗生素伤害的能力，要比同类其他植物强八倍多。这是细菌基因在高等植物体内表达的第一批例子。

1983年10月，美国明尼苏达大学的鲁本斯坦教授宣称，他们将玉米醇溶蛋白基因和Ti质粒重组后转入向日葵根部细胞已获成功。

另一项植物基因工程——抗盐抗旱的植物基因工程，作为美国这一领域的重点项目，也取得了可喜成就。遗传学家们先把某一作物的耐旱耐盐基因移植到细菌细胞内繁殖，然后再将这种基因转移到植物细胞内，可以促进植物体内脯氨酸的产生和代谢。因为脯氨酸能抑制植物细胞向外渗透水分，植

物经过遗传学家们这样的操作后，也就增强了抗旱抗盐的能力了。

前联邦德国和美国堪萨斯州立大学的科学家得到了种间植物杂交的著名例证：把蕃茄和马铃薯的细胞融合在一起，再生成植株，就成了“蕃茄薯”和“薯蕃茄”，创造了自然界本不存在的植物。

苏其金芽孢杆菌能产生一种专门杀灭有害于农作物的鳞翅目昆虫的蛋白。1985年有报告说，将这种细菌细胞内生产此蛋白的基因传递给农作物的细胞，并在新的寄主那里表达，形成的烟草新植株使一些花蕾虫、甬虫、卷心菜烟草尺蠖等有害昆虫退避三舍，不敢造次了。

在植物育种方面较有成效的还有花药培养、染色体工程和细胞突变等细胞工程技术。二十多种植物的花粉植株已培养成功；三倍体甜菜、四倍体橡胶草、八倍体小黑麦、多倍体蕃茄等已应用于生产；美国应用细胞培养结合突变处理的方法，获得的水稻新品种赖氨酸含量比普通品种要高十分之一。

还有许多正处在探索中的细胞工程：

抗除草剂的植物是我们的理想目标之一，现在已知道有些酶有抗除草剂的作用，如谷胱甘肽转氨酶。有的实验室正在利用这种酶基因的重组技术，进行农作物抗除草剂基因工程的研究。

人们还在进行耐高温植物的研究，利用一种抗高温蛋白的调控 DNA 与抗高温蛋白基因的基因工程正在进行。

抗小麦锈病、玉米大小叶斑病，蕃茄、土豆以及棉花的枯、黄萎病等的基因工程也尚处于柳暗花明的探索中。

近年，又诞生了许多实用性成果，很多植物新品种都进入了商品化阶段。美国孟山度公司培养的能产生杀虫剂的转基因土豆获准上市，日本科学家利用基因重组技术培育出了抗病能力强、味美高产的西红柿和西瓜。

在这里，要格外提一笔的是植物的固氮研究。大家知道，蛋白质是人体必需的营养成分，而且也是最重要的营养标志。植物来源的蛋白质在我们摄取的蛋白质中占很大比重，比如像我国这样一个以谷物为主食的国家，蛋白质来源有一半要取自粮食。人类社会面临着需要更多更优质食品的问题，而增加蛋白的供给显得尤为重要。由于传统的增产方式已经快到了“黔驴技穷”的地步，土地面积不可能再大量增加，使用化肥使粮食产量大幅度增长的时代已经过去，而且化肥不仅需要大量的投资，成本高，更主要的是造成环境污染日趋严重。出路在哪里呢？植物基因工程的运用给我们指明了方向。

大家知道，植物中的蛋白质是植物从土壤中吸收氮素而形成的。但是，自身就具备这种本领的植物只有豆科植物中的几种，如豌豆、大豆等。如何使其他的植物都具备这种本领呢？这就是植物基因工程要解决的问题了。

土壤里的氮素是从哪里来的？是从空气中来的。我们的地球表面覆盖着空气，其中约有 80% 都是氮气，一亩土地的上空，至少会含有 5000 吨的氮素！这么多的氮素，为什么植物还需要氮肥呢？当然是因为它们没有固氮能力了。那么豆科植物又是怎样固氮的呢？原来，在土壤里有一种能固氮的细菌，可以与豆科植物联合起来，通过体内的固氮酶把空气中的氮素转化成为作物可以利用的以氨的形态存在的氮。这样，每个固氮细菌细胞不就是一座超小型的氮肥工厂吗？这样一个小工厂一年下来能固定 50~500 公斤的氮素，正所谓“体小能干大事”。成万上亿的固氮细菌如果都被其他非豆科植物联合起来的话，不就可以代替世界上正运行着的千千万万的化肥工厂了吗？

植物基因工程的概念正是由怎样使大多数非豆科植物也能固氮这个问题引出来的。而研究植物基因工程，前面讲的根瘤土壤杆菌倒是很有可能成为理想的天然植物遗传工程师。根瘤土壤杆菌在这里有着双重的身份：一方面，它是植物基因工程的受体；另一方面，它又充当传递遗传信息的载体。前面提到的根瘤土壤细菌细胞中的 Ti 质粒，已被证实可以作为载体，将一定的基因带到植物细胞里。如果给解除了生瘤武装的 Ti 质粒插入一些基因如根瘤细菌的固氮基因，再让它把这些基因运送到非豆科植物的细胞里，最后传递到下一代植株的种籽中，或许就可以实现我们的目标。

只是，目前在这项工程的实际工作困难重重，如遗传操作禾本科作物要比操作双子叶植物困难得多，而遗传操作根瘤细菌也比其他细菌难度大，遗传工程学家们正在迂回曲折地探索一些可行途径。随着科学技术的进步，特别是植物分子遗传学的强化研究，有朝一日在一些非豆科作物和固氮菌之间建立起共生固氮体系，是有可能实现的。利用 Ti 质粒作为运载体的研究也一定会获得许多新的成就。

动物育种

动物与我们人类的关系可以说也是再密切不过的了。我们吃的肉、蛋、奶，穿的皮、毛来自动物；我们的许多日常用品、医药保健品来自动物；还有许多特殊用途的动物如警犬、赛马、观赏鱼等等。动物育种是人工繁殖动物的必要环节，而且也是决定动物品种、质量的关键环节。自 50 年代家畜胚胎移植成功以来，人类在动物育种方面也取得了许多惊人的成绩。

70 年代后期，发达国家开始把家畜胚胎移植用于提高肉牛生产，而我们知道牛肉是西方国家的重要食品。一般情况下，一头优良母牛一生只能产十来头小牛，但采用胚胎移植至少可以获得 50 头以上。

80 年代以来胚胎培养、冷冻保存和家畜繁殖新技术相继出现，使优良品种繁殖系数进一步提高。科学家们发现，当胚胎中的细胞数还没有超过八个时，每个细胞都有发育成正常个体的潜力。于是把这些细胞用显微外科手术的办各自分裂开来进行培养，最后再移植回母牛体内发育成小牛。1983 年，美国用这类方法改进乳牛育种程序，全国奶牛从两年前的 2800 万头减少到 1100 万头，但产奶量却提高了两倍，这些高产牛群实际上是由不到 100 头公牛配种后人工繁殖的。

自从 70 年代基因工程问世以来，人类进入了一个有可能按自己需要创造新生物的伟大时代。而对动物遗传物质上的操纵，就使我们可能控制动物的形态和功能，培育出新品种。现在科学家们可以把各种基因转入人工培养的细胞内，并使它表达出来。

80 年代开始，转基因动物的研究引起了许多人的兴趣。他们采用的方法是把外源 DNA 经过微型注射，引入哺乳动物的受精卵中，再把卵移植到养母生殖道中。这样产生的动物，由于已把外源基因在胚胎发育的早期镶嵌到了受体染色体上，这个外源基因就能通过被种植过的细胞传下去。

1983 年，一项试验的成功轰动了世界：美国的一个研究组把细胞工程和基因工程巧妙结合，制造出了一只“超级鼠”。他们把大白鼠的生长激素基因分离出来以后，利用基因工程技术得到了大量纯化的基因，并把它注入小白鼠的受精卵中，再移植回小白鼠的子宫内，经过胚胎发育，生下来的小白

鼠竟然比一胎所生的对照小鼠大了一倍。而且这种超级鼠也能在肝脏里分泌生长激素，它的血液中生长激素的含量甚至比通常小鼠高出 200 倍！从这项研究中，科学家们还发现了外源基因可以高效地进入几乎所有的组织细胞，而且能与染色体稳定地结合在一起，也就是说，可以世代相传。这一戏剧性的事件，引起全世界舆论大哗。因为这不仅仅是基因理论研究的重大突破，还标志着动物遗传育种的一个新方向。各国科学家正在利用这一成果，定向改造现有的家禽、家畜和鱼类，期望能根据人们的需要，培育出更大体型的种类，甚至培育出自然界所没有的动物新品种。“超级鼠”问世后不久，就有大动物经过相似的技术处理而产生出转基因大型动物，如巨羊和巨鱼。将人体的生长激素转入泥鳅体内，其体重可以增加一倍。

澳大利亚的绵羊举世闻名，澳洲的科学家们又宣布将用生物工程技术来培育优良的自动脱毛的大体型绵羊。他们将通过注射生长激素的方法，获得大体型的绵羊，从而增加羊毛的产量；然后给绵羊吞食表皮生长素丸，暂时抑制羊毛的生长。24 小时药性消失后，羊毛还会继续生长，但在这段时间里生长的羊毛格外纤细，用手一捋就能捋下来，大大方便了羊毛生产的剪毛过程。

另外，国外鱼类无性繁殖技术的研究正在蓬勃展开。他们运用的技术有单性繁殖、不育技术、诱变育种、基因微量注射技术等，而且卓有成效；另外，有些国家以我国的草、鲢、鳙鱼为研究对象，在细胞水平上进行抗病草鱼等品种的选育。

在动物遗传育种方面硕果累累的同时，科学家们也在担心，如果一味追求利润，不加限制地去培养巨羊、巨鱼、巨猪（美国农业部有培育巨猪、巨羊的计划），长此下去，必将一点一滴地扰乱生物圈。这些研究成果甚至也引出许多道德、伦理、法律和社会的问题。如“超级鼠”事件就曾在美国宗教界、伦理界、法律界、科技界以及其他社会各界引起强烈反响，甚至还引起了某些人的恐慌，认为这种改变动物卵和生殖细胞中基因的做法，似乎是开创了按订单设计人和动物的极可怕的前景，产生了所谓“克隆人类”的恐惧。但是，这一成功无疑开辟了基因工程在动物育种研究方面的实用化道路，对生物学、医学，特别是对畜牧业将产生重大影响。

动物保护

和人一样，动物也会患种种疾病，既给动物的健康造成很大危害，也给我们的畜牧业带来极大的损失。尤其是传染病，不但种类不同，还常常有许多亚型；更糟糕的是，同一种病还可以传染给多种不同的禽、畜，有时还能传染给人。今年英国出现的疯牛病至今余波未息，令人心有余悸。

兽用疫苗是解决这些问题的重要措施。传统选疫苗的工艺大多是采用培育弱毒苗或者制成灭活菌的办法，生产流程既长又繁，产品质量也存在不少问题。生物工程的发展给整个疫苗生产带来了革命性的变化，利用基因工程技术，生产亚单位疫苗和人工合成多肽疫苗成为制造有效而安全的疫苗的新方向。目前已经有许多兽用疫苗研制成功，有的已经投放市场。

仔猪黄痢是由猪源性产肠毒素大肠杆菌引起的动物疾病。得了这种病的仔猪就会发生急性腹泻，病情严重的还会死亡，据统计每年有 30 万头仔猪是因为患这种病死掉的。它广泛流行于世界各地，给各国的养猪业带来极大危

害。国外许多实验室和基因工程公司都开展了预防仔猪痢疾疫苗的研究。令人不解的是，把这种疫苗作为世界上第一个投入市场销售的基因工程产品的国家，既不是生物工程学研究最先进的美国，也不是实力强大的英国和法国，还不是美国的强劲竞争对手日本，而是以发达的畜牧业生产著称于世的荷兰。时间比人胰岛素投放市场还早半年，是 1982 年的 10 月。

犊牛腹泻与仔猪黄痢病相似，致病菌同是大肠杆菌质粒，不同的是基因分别是 K₉₉ 和 K₈₈。美国西提斯遗传工程公司和诺尔登实验室应用基因工程技术，把这两种基因重组在一起，研制出既能预防仔猪黄痢又能预防犊牛腹泻的基因工程疫苗，而且它还能用于妊娠的母畜，使产下的幼畜从初乳中就能获得免疫，小猪小牛一生下来就可以健康活泼地生长了。

腐蹄病是养牛、养羊人的心腹大患，澳大利亚的牧民曾每年为此支付二千多万澳元的巨款。80 年代中期澳大利亚科学与工业研究所分子生物学组，用基因工程技术研制成功的防治腐蹄病的新疫苗问世，不仅效果好，而且价格只有传统疫苗的五分之一，牧民们可以笑逐颜开了。

另外，美国俄勒冈大学研制的草鱼出血病基因工程疫苗，美国遗传技术公司于 1982 年研制的牛干扰素都已投入实际应用。狂犬病毒糖蛋白亚单位疫苗、流感病毒疫苗也在试制中。

单克隆抗体在生物工程学中具有可与基因工程相提并论的地位，更要特书一笔。在单克隆抗体诊断技术方面，美国自 1979 年以来，陆续建立了淋巴细胞杂交瘤株，用来产生特异性单克隆抗体作为兽医诊断试剂。如狂犬病毒、型腺病毒（传染性狗肝炎）、伪狂犬病毒、牛病毒性腹泻病毒、型马疱疹病毒（马流产）、山羊关节炎脑炎病毒、马传染性贫血病毒、小鼠肝炎病毒、锥虫、非洲猪瘟病毒等。除此以外，三种不同类型的口蹄疫病毒的杂交瘤株、牛白血病病毒的杂交瘤株已分别由英国和比利时建立起来，单克隆抗体治疗小鼠白血病及牛腹泻在美国已取得了可喜的成果。因此，许多病毒、菌原体、细菌和寄生虫等动物病害，都可以用单克隆抗体进行快速而准确的检验和诊断了。

还有一个要单独列出来加以介绍的是被定为国际防疫对象——口蹄疫的疫苗。口蹄疫是兽疫中最烈性的传染病，至今还令人们谈其色变。虽然一些国家和地区采用扑灭的办法试图控制和杜绝这一疾病，但至今仍有许多国家没有根治，造成的损失难以估计。用基因工程技术生产疫苗的突破口正是口蹄疫。1982 年美国遗传技术基因工程公司用基因重组技术通过大肠杆菌制备口蹄疫表面抗原疫苗获得成功，随后，前联邦德国这一试验也宣告成功。后经过美国梅岛研究中心验证其安全有效后，加州遗传工程公司投产试制，目前已经实现商品化了。

口蹄疫疫苗开始时是用基因重组方法，把口蹄疫病毒中的 Vp1 外壳蛋白转移到大肠杆菌中表达的。两年后，科学家们又实现了在酵母、芽孢杆菌或者动物细胞中的表达，使疫苗的质量明显提高。到 80 年代中后期，英美两国的联合小组又人工合成了一种口蹄疫多肽疫苗，这种疫苗接种给兔、豚鼠、猪和牛，能使它们产生高水平的抗体，可以抵抗同源病毒的攻击，是制造口蹄疫疫苗的新途径。

现在，动物疫苗的研究正在快速发展，已经有越来越多的动物受到疫苗的精心保护，脱离疾病之灾。除上面提到的疫苗外，牛瘟、鸡瘟和绦虫病疫苗也都已经在兽医中应用，畜牧业的发展将面临着广阔的前景。

植物保护

给植物准确快速地诊断疾病，使植物免受病虫害等的侵袭是植物保护的主要内容。

在讲述植物育种时，我们已经提到有关这方面的问题了。如利用苏云金芽孢杆菌能产生杀灭鳞翅目昆虫的物质的特性，把该菌产生的这种基因传给一些农作物，使它们具有天然抵抗花蕾虫、蛹虫等害虫的能力；把细菌的抗卡那霉素基因转入向日葵、烟草、胡萝卜等植物的细胞里，可以使它们的子孙后代都能免遭抗生素伤害。

以往生产的杀虫剂给环境带来了严重污染，而利用基因工程技术生产不污染环境的杀虫剂，是全世界关注的研究课题。苏云金杆菌产生的毒素蛋白还可以用来制造作为杀死鳞翅目害虫的有效的农用杀虫剂，比利时的索范公司就已经利用苏云金杆菌生产出了两种天然杀虫剂。他们把这种毒素蛋白用基因工程方法成功地移入大肠杆菌和枯草杆菌中，得到产物，然后进一步改造毒素蛋白的基因，使毒性和产量得到提高，最后制成杀虫剂。另外，有些科学家还希望把昆虫病毒用基因工程技术扩大生产，作为另外一种病毒治虫的手段。

单克隆抗体在给植物诊断疾病方面也是大有可为的。它被公认为是质地纯净的高效试剂，不但可以快速、灵敏、准确地诊断植物的病毒病、细菌性病害和螺旋体病害，而且由于特异性强（具有“长眼睛的子弹”的称号），还可以准确地检测出病毒的不同株系。例如，瑞士就获得了检测马铃薯Y病毒三个不同株系的单克隆抗体，在建立马铃薯无病毒种属、提高产量方面发挥了巨大作用。

目前，这一领域的研究进展也很快，许多农作物、林木、花卉等病害的单克隆抗体都已经研制成功。

动物的快速生长

动物的肉、蛋、奶是我们的重要食物来源，而且味美质优，营养价值很高。即使像我国这样一个以谷物为主食的国家，动物蛋白也要占我们摄入的蛋白质总量的一半，而且这个比例还在进一步提高；在西方那些以肉食为主的国家，动物蛋白的重要性就更不言而喻了。

在畜牧业中，除千方百计让畜、禽等健康生长以外，会很自然地考虑到怎样使它们快速生长，这对我们来说，显然有非常重要的意义。

怎样使动物快速生长？我们首先会想到要让动物吃得多、吃得好，也就是说要让动物饲料营养丰富。动物本身是生产蛋白质的，但它们也同样是需要吃含蛋白的饲料的。由于畜牧业和养禽业的迅速发展，对蛋白质饲料的需求量也飞速增加，一般的动、植物蛋白远远不能满足需要。为此，现在世界各国都在积极发展单细胞蛋白。

微生物蛋白被人们称为单细胞蛋白。这是因为微生物的蛋白质含量极其丰富，约占体重的70%~80%，每个微生物单细胞就是一座效率极高的蛋白质合成工厂，它们的合成速度比动物要快1~10万倍！就是说一头100公斤重的母牛一天若生产400克蛋白质的话，100公斤重量的细菌一天则能生产

四吨蛋白质。

单细胞蛋白生产就是用工厂化发酵的方法大规模培养蛋白质含量高的微生物和酵母细胞，作为人类或者动物的食物蛋白质来源。与豆类相比，单细胞蛋白饲料具有更高的营养价值，如赖氨酸和苏氨酸等必需氨基酸的浓度更高。它不仅生产速度快，而且可以进行连续生产，原料来源相当丰富，石油、天然气、甲醇，甚至泥炭、木屑、谷壳等都可以作为它的生产原料；单细胞蛋白生产还不占用耕地，也不受季节气候影响，的确是两全其美的好办法。

诸多优点使单细胞蛋白成为解决蛋白质饲料不足的一条重要途径。前苏联在单细胞蛋白的生产方面在世界上是首屈一指的。80年代初全苏联共有98座生产单细胞蛋白的工厂，年产量近200万吨；到85年，则达到了近300万吨，成为发展畜牧业的有力支柱。许多西方专家认为，苏联已由以谷物为主食的国家转变为以肉食为主的国家，这其中微生物饲料发挥了巨大的作用。

英国帝国化学公司投资了一亿英镑，建起了一座世界上最大的单细胞蛋白发酵罐，年产量可达六万吨；还筹建了以甲醇为原料、年产量30万吨的甲醇蛋白工厂。曾经有一张照片，背景就是这座甲醇蛋白工厂，巨大的发酵罐在用甲醇为原料发酵生产单细胞蛋白；而工厂前面的草地上，一些悠闲的奶牛或立或卧，它们是利用草料，通过牛胃厌氧发酵来生产人类需要的牛肉或牛奶的，两者有异曲同工之妙。

氨基酸和维生素也是动物营养的重要成分，它们作为饲料的添加剂，对畜禽的生长也有很重要的作用。以往这两种物质由于生产成本较高，产量有限；而现在利用生物技术用培育高产菌株生产氨基酸和维生素的方法，则正好弥补了这些缺陷。

使动物快速生长还有一个方法，就是给动物注射适量的生长激素。生长激素是动物脑垂体分泌的蛋白质激素，主要作用就是促进动物生长，在代谢中促进蛋白质的合成和脂肪的消耗。幼龄动物血浆中生长激素的含量较高，但随着年龄的增长，含量会逐渐下降，这时如果给动物注射一定量的生长素，就可以大大加快动物的生长。1973年时就已有人给奶牛注射生长激素，结果使牛奶产量增加了近1/5，而饲料却节省了近1/3。后来又不断有人进行试验，如当猪长到45公斤后开始注射生长激素，约50天就可以达到一般需要60天才能达到的94公斤体重，瘦肉比例大大增加，肉中蛋白质含量增高，脂肪含量减少，生产效益非常显著。

注射生长激素还可以提高羊毛和鸡蛋等的产量。澳大利亚就是用这种方法获得大体型羊来，增加羊毛产量的。

生长激素如此有用，但是由于过去只能从动物脑垂体中提取，来源受到很大限制，无法发挥其应有的效用。如1000个猪的脑垂体只能提取450毫克，1000只鸭只能提取2.5毫克，而要获得上述的效益，就需要1000毫克生长激素！相差太悬殊了。

基因工程技术又一次扭转乾坤。1982年美国利用这一技术使牛的生长激素基因在大肠杆菌中获得表达，并正式投放市场，大大提高了奶和牛肉的产量。用同样的方法研制不同动物生长激素的基因工程产品，就可以得到我们需要的各种不同的效益。

鸡蛋也是全世界人们喜爱的必需食品。法国的巴斯德研究所用基因工程技术来发酵生产鸡卵清蛋白，获得了巨大的成功。这种没有蛋壳的鸡蛋向世

界宣告：人类社会利用细菌生产人类所需的高等有机体蛋白质已不存在什么困难了，而且有朝一日，家禽养殖业必然会因这种大肠杆菌产生的卵清蛋白而发生重大变革。

植物组织培养进行快速繁殖

如今，在美国和亚洲的一些国家，一个新兴的产业部门——“兰花工业”，正发展得如火如荼。美国有十多个兰花中心，年产值达 5000~6000 万美元；新加坡仅出口兰花一项贸易，每年可以净赚 500 万美元；泰国每年出口兰花及试管苗兰花价值 650 万美元。

兰花作为一种名贵花卉能从工厂里源源不断地生产出来，是组织培养技术应用于工业化生产的功劳。科学家们在对植物的研究过程中，发现植物的各种器官组织都具有全息性，就是说这些组织的细胞，都可以经过分裂生长，最后分化发育成一棵完整的植株，也能开花结果，繁衍后代。这是因为它们都具有与全株植物相同的整套遗传物质，只是在发育过程中才分化成了根、茎、叶、花、果和种子等不同的器官组织。现在，已经有数百种植物器官组织可以通过这种方法培育植株了。

采用组织培养技术，可以大量地快速繁殖名贵花卉、瓜果苗木，进行工厂化生产，这就是所说的试管苗生产。澳大利亚科学家用这种技术，在试管内培养荔枝，12 个月就可以结果，而通常需要七年时间！这令几千年前“一骑红尘妃子笑”的荔枝，想必不久的将来会普及在“大江南北”，摆脱贵族身份了。

此外，一个桉树芽繁殖出 10 万株树苗，100 万株康乃馨来自一个康乃馨茎尖，刚刚“出生”49 天的玫瑰就绽放出绚丽的花朵……这些奇迹都已经由组织培养技术变为现实。

在美国的某些市场上，你可以发现一种晶莹剔透、外观雅致的人工合成“种子”，这些种子也是细胞工程应用实例之一。

还是在 1985 年的时候，美国一家植物遗传公司，向美国政府申请了一项名为“合成芹菜种子”的专利，并声称将在一、二年内向市场提供这种利用植物组织培养技术所获得的商品“种子”。他们将芹菜茎切成小段，在实验室培养瓶里培养，形成大量伤愈组织；然后将伤愈组织分成许多小细胞团，放在盛有合成激素的锥形瓶内，诱导伤愈组织小细胞团分化形成大量微小的体细胞胚胎。体细胞胚胎能像天然种子一样发育成完整的芹菜植株，不同的只是这种“种子”大小相差悬殊，而且没有种皮。为了能使它进入商业化生产，研究人员就给它们穿上了衣服：一层透明的有机材料膜和一层极薄的可以生物降解的聚合物膜，这样就成了人们在市场里见到的模样了。

这种合成种子由于不受季节、气候的限制，不需要农田，所以它可以在室内进行一定规模的工业化生产，给农业和工业之间架起了一座桥梁。它将彻底改变已经沿袭数千年的种子生产方式，给种子的工业化开创了美好前景。目前，其他植物的人工种子也在加紧开发中。

近年来，利用离体培养的细胞生产有用的次生代谢物质（细胞代谢过程中产生的“副产品”）的研究也很活跃。由于自然环境破坏、滥采滥伐，或因栽培期长、成本高等原因，一些特殊的经济作物和药物的产量受到限制。现在由于细胞组织培养法的运用，这些东西就可以像微生物细胞那样在发酵

罐里进行生产了，一改过去只能从植物中提取或土壤栽培的传统生产方式。像许多药品、香料、天然色素、化妆品原料、甜味剂，都可以通过高产细胞来获得，从而实现天然产物的工业化生产。目前成功的例子有日本的人参皂甙（人参中起到药效的成分）、紫宁草等，例如人参皂甙是日本用 130 吨级的发酵罐进行人参细胞的工业化生产的，作为组织培养的人参细胞是由北里大学古谷力教授分离培育成的。这种方法生产出来的人参不仅保持了有效成分——人参皂甙，而且药效还更好些。另外联邦德国和加拿大也分别在强心剂药物和抗癌药物的生产上取得了可喜的成就。

综上所述，可见生物工程在农业方面的应用已颇见成效，前景广阔。发达国家在生物技术各领域的投资中，把农业列为第二位，仅次于医药保健，也是生物工程开发的重点。而农业作为国民经济的基础，历来受到各国高度重视，尤其在发达国家，农业享受到多方面的保护和优惠政策。面对日趋激烈的国际竞争，生物工程技术在农业方面的应用无疑会倍受重视。

环境保护的英雄

最近，在中央电视台《人与自然》节目中，赵忠祥向我们介绍了一种国外正在研究的新型塑料包装制品：生物降解塑料。

我们知道，现在我们使用的许多塑料制品，如各种食品的外包装、农用塑料地膜、大棚、各种塑料用具等，废弃后由于会长时期难以清除，造成了严重的“白色污染”。生物降解塑料则没有这种“后患”，它被废弃后，一经接触土壤，便会逐渐自动分解。这种理想的塑料是怎样生产出来的呢？它为什么会有这样的特点？这就引出了我们下面的话题：生物工程在环境保护方面的应用。

环境保护已经成为全人类共同的迫切要求。工农业生产的高速度发展、地球上人口的迅速膨胀、耕地面积的日益减少、土地沙化的日益严重……这一切给我们生存的环境造成了巨大的压力；污染日趋严重，也给人类带来了诸多疾病的困扰。怎样治理已经污染了的环境、保护尚未污染的环境？人们在苦苦探索。新兴的生物工程技术使人们看到了希望，它在解决这些困扰人类的问题上显示出独特的优越性。

生物工程的优越性在于：不仅用生物工程原理建起来的新产业一般都是少污染的行业，而且利用生物工程技术还可以化废为宝、化害为利，治理环境污染，减少对人类的危害。

我们可以把生活环境中的污染问题分为两类：一类是长久存在于生物圈的，如石油工业的烃类物质、人畜排泄物；另一类是随着人类生产的发展产生的物质，如工业“三废”、农药、洗涤剂。

怎样利用生物工程技术治理环境污染呢？现在研究得较多的有两个方面：一个是利用固定化反应器来连续处理工业废水或含毒废液；一个是用基因工程等手段，构建“超级细菌”来处理大面积的污染，如我们常从《新闻联播》中看到的轮船漏油造成的海面石油污染等。

在处理工业废水、废渣方面，西欧各国已经转向甲烷（沼气）发酵。日本过去在酒精工业的废水、废渣处理方面普遍采用甲烷发酵，现在又推广到食品工业、制药工业的废水处理中，对城市人粪尿的处理也很有效；英国、美国、联邦德国和前苏联也建了许多城市工业及生活废水（渣）的大型沼气

发酵厂。把令人头疼的垃圾变成可以作燃料的沼气，“变废为宝”，这的确称得上是一举两得的事情。伦敦的沼气发酵厂每年可以回收沼气 8800 万立方米；美国洛杉矶污水处理厂每天回收沼气 400 万立方米；联邦德国则建成了世界上最大的单级沼气池，有 1.2 万立方米！

另外，人们还用一种名为丙烯腈氧化菌的细菌来处理生产腈纶产生的废水，每天可以处理 500 ~ 700 吨废水，效果也非常不错。用混合菌系统处理对人和动物毒性极大的三硝基甲苯(TNT)废水，处理后的水可以达到排放标准。英国帝国化学公司用固定化镰刀菌去除含氰化合物也已成功。

把基因工程研究运用在污染降解方面最为人所知的人物是名为查克拉巴蒂的美籍印度人。他用几株对人无害的细菌菌株，通过质粒的传递作用，把每个菌株中的质粒（含有降解石油的基因）都集中到一种菌株上，这种含有多基因的细菌被称为“超级细菌”，可以降解四种石油组分。这位科学家还提出了清理油泄漏的具体办法：将“超级细菌”在实验室里培养，与稻草混合后干燥。这样粘着于草上的细菌可以保藏，而在投入泄漏的石油上时，稻草杆所吸入的油份，就可以被细菌降解。这项发明后来成为美国第一个获得批准的基因工程菌专利。

现在人们利用微生物控制环境污染的办法有两种：一种是提高已经被污染了的地区中微生物的生长和分解能力；一种是在污染地区喷洒更多的或新的微生物。

我们可以举几个例子：

美国一家石油公司曾研究存在于土壤中的微生物对地下泄漏的汽油的清除作用。他们用灌注氮、磷养料和空气的办法，加速土壤中降解烃类微生物的生长。这样，由于细菌更好地利用了石油而大量繁殖，地层中的汽油在一年内就被清除完毕。

另有美国几家公司从事降解环境污染微生物的选育，他们成功地用配好的混合菌种处理船底 80 万加仑含油的水，六周后，含油的水已经可以安全地排放到长岛海湾里了。

下水管道的清理可不是件容易的事。美国的一家公司所出售的菌种，据说能处理下水管粘着的油脂污物，可以用来定期清理居民、饭店、食品厂等处的下水管道。当然，这样的例子还很多，如筛选分离有专一降解能力的细菌，用来分解废水中的有机磷、有机氯、有机汞等等。微生物还具有防止酸雨发生的能力。

酸雨在我国和其他国家的许多地区都有发生，问题日益严重。造成酸雨的主要原因是煤中含硫量太高，燃烧后产生的二氧化硫积聚在大气中，下雨时二氧化硫溶在雨水里便形成了酸雨。微生物家族中的亚铁氧化硫杆菌和酸热硫化叶菌等可以使煤在燃烧前除去硫。利用脱硫细菌的工作，国外进行了每天处理 8000 吨煤的大规模实验，取得了较好的脱硫效果。这一工作，对降低煤中含硫量，防止大气污染和酸雨是非常有意义的。

最后，我们来给出前面有关生物降解塑料问题的答案：原来，这种可以自动分解的塑料是基因工程师们用基因工程技术将油菜进行了改造，使油菜在生长过程中长出了可以用来做成“植物塑料”的物质。由于这种物质是天然的植物成分，所以它能像植物那样在结束使命后，在土壤中慢慢地腐烂掉，自动地进入生态循环。

生物工程技术的确实是我们治理环境污染的重要武器，有朝一日，它必将

协助我们把地球建设成一个没有污染的人间天国。

能源工业的功臣

我们人类利用生物转化作用产生能源可以追溯到很久远的时代。火就是人类获得能源的第一项技术，距今足有 40 万年的历史，它是人类第一次利用生物能源的成果。古代神话传说中的女蜗炼五色石补天，燧人氏钻木取火，不正是讲的生物能源的利用吗？到了今天，能源已成为全球性的重要问题了。

人类面临着能源日益枯竭的严峻问题。印度著名的物理学家巴巴预测，亚洲和远东地区会在 30 年内把能源消耗殆尽；南美和中美为 40 年；中东为 65 年。若干年后呢？我们将依靠什么生活？于是，寻找替代能源，尤其是在 24 小时内耗费掉又能在同一时间内生产出来的能源，一时成为人们的热门话题。

在日常生活和工农业生产中，我们采用的能源来自四个方面：一个是化石能源，即煤和石油；第二个是水力、风力、潮汐，主要用作水力发电；第三个是原子能，它将在下一个世纪发挥巨大的作用；最后一个就是再生能源。是植物（包括农作物、森林、牧草、藻类等）利用太阳能，进行光合作用所积累的有机物，这是家庭生活的主要能源，也是今后值得重视并进行合理利用的能源，因为它是植物对太阳能的捕捉，取之不尽，用之不竭，所以，它是人类寻找的重要的替代能源，也是生物工程的主要研究对象之一。

对再生能源的利用

再生能源实质上是生物量能，是光合作用的产物，它不仅可以再生，而且产量极大：一年中地球上绿色植物利用太阳能、二氧化碳和水，转化成碳水化合物（如淀粉、蔗糖等）和其他有机物（如蛋白质、油脂等）所积累的生物素共有 1720 亿吨！相当于目前世界能源消费量的十多倍。它们除了供做食物、饲料、燃料和工业原料等之外，其余的 96~97% 作为废弃物或垃圾白白扔掉了。而那些似乎是廉价的纤维物质如稻草、麦秆、玉米秸、木材等，多数被农家当作柴禾，一烧了事，而事实上，这样燃烧时有 9/10 的热量都被浪费掉了。

如何提高生物量能的利用率？这个问题引起了世界各国的重视。运用现代生物工程技术是解决这一问题的根本途径。美国能源部专门成立了“生物量能局”，制订了联邦生物量燃料计划，计划到 2000 年从糖和淀粉中制取酒精 4619 万千升，从纤维素中制取 1.5 亿千升；法国 1985 年从稻草中转换得到相当于 50 万吨石油的能源；日本也制订了两个生物量能研究计划——“绿色能源计划”和“生物量能转换计划”，并已经付诸实施。

每年工农业生产的和废弃掉的纤维物质质量极大，如美国每年废弃 5.5 亿吨木质纤维素，另外还有像城市废旧报纸、包装材料、木屑、农产品下脚料等废弃物。这些东西如得不到合理、及时的处理就会愈来愈多、泛滥成灾，成为环境污染的一个重要方面；如果运用合理的生物技术，将它们转化成各种有用的产品，包括沼气、酒精、有机酸、单细胞蛋白等，就可以做到化废为宝，一举数得。在这里，我们将着重介绍利用生物量生产酒精和沼气。

1. 酒精的生产

70年代中期，由于石油价格不断猛涨，石油能源日渐枯竭，工业发达国家运用化学合成法依靠石油生产酒精的比重又很大，对石油输入的依赖程度更加严重。于是，他们迫切需要一种替代性能源。一个时兴的办法是用酒精代替部分燃料油，即酒精与汽油混合后的醇汽油。巴西在这方面做得卓有成效：他们利用自己独特的气候、地理条件，用甘蔗汁、糖蜜、木薯作为原料发酵生产酒精。目前，他们已经实现了用10%酒精渗合的醇汽油燃料，1985年酒精的产量达105亿升，使石油的进口从1979年的5000万吨下降到1982年的4000万吨。并给500万人创造了就业机会。巴西的成功带动了一些工业发达国家纷纷效仿，现在大约已有20个国家正在生产或研制发酵酒精，以解决本国的部分能源需要。

酒精发酵受到高度重视还有一些更直接的原因：如生产技术已过关，固定化活细胞连续生产的新工艺使酒精生产中糖的转化率、发酵容器的效率都大幅度地提高，发酵时间大大缩短。酒精不仅是无污染能源，而且也是可再生的能源。醇汽油在略加改装的汽车上就能使用，另外，生产酒精的原料来源充足也是一个重要原因。

作为洁净、节约能源的酒精发酵工业，显然是众望所归、大有前途的产业。

2. 沼气的生产

沼气发酵是自然界屡见不鲜的厌氧消化现象，湖面、池塘、水面冒出来的气泡，中间就含有这种可燃气体，古代人将这种气体燃烧称为“鬼火”。

如今，这种能燃出“鬼火”的沼气，通过发酵工农业废物和生活废水的方法生产出来，作为一种重要的能源，正得到迅速发展。沼气作为一种新能源，不仅有助于解决目前的能源危机，还能在生产过程中与环境污染治理紧紧地结合在一起：利用工农业固体废料、废液、生活污水为原料进行工业规模生产甲烷燃料气体（沼气），既解决了工农业和居民生活用的部分能源，又净化了环境，减轻了污染威胁，真可谓一举两得。

沼气发酵可以发生在污水消化池、湖泊池沼和河底、稻田、垃圾坑以及动物的反刍胃和人的肠道中。其生化反应过程大致分为三个阶段：第一阶段是在发酵和水解菌的作用下，降解生物高分子如纤维素、蛋白质等，产生氢、二氧化碳及一些挥发酸和乙醇；第二阶段是在乙酸产生菌的作用下，把上述产物转化为乙酸；第三阶段是在沼气产生菌（包括多种甲烷菌）的作用下，使沼气最终生成。

生产沼气的技术和设施经过多年不断的改进、完善（例如将固定化技术引入到净化环境污水、生产甲烷气体燃料中）已进入第二代，不仅产气量提高了10倍多，而且以往一些难以被分解的物质也降服了。

现在，沼气的应用已非常广泛。美国一个牧场兴建了一座年产气11.3万立方米的甲烷气体工厂，足够供应一万户居民的能源需要；芝加哥污水处理站号称是全世界最大的甲烷生产工厂，日产甲烷气体10万立方米；印度以牛粪为原料，发展农村沼气，已由政府资助推广全国；联合国在孟买建立了沼气研究中心；前苏联对沼气的开发研究也有多年历史，许多农庄都建有沼气池。另外，沼气发电也将变为现实。

除了发酵法生产酒精和沼气外，另一种替代能源——氢气，由于产热值高、无毒，和煤、石油等普通能源相比，燃烧后不给环境带来任何污染，而

成为另一具有诱人前景的研究课题。科学家们研究用固定化深红螺菌等可利用葡萄糖产氢的细菌生产氢气，日本则用蓝绿藻制成光合器，能在阳光下光解水产生氢；另外，也有科学家在研究利用固定化氢化酶产氢。只是，目前氢的生产还缺乏现实可行的方法，短期内难以投入实际应用。

酒精、沼气、氢气这些可再生能源的应用，不仅使我们节约了传统能源，而且作为新开发的能源在能源工业中占有越来越重要的地位。而在使人类获得能源方面，还有一种不可小看的方法——利用微生物开采石油。它同样为人类节约能源做出了贡献，而且从某种意义上来说，也是一种新能源的开发。

微生物采油

石油井的产油，如果靠的是油层的天然压力，叫作一次采油；油井压力下降时用注水等方法开采为二次采油；近年来出现的微生物采油等新方法就是三次采油了。

由于采油技术的局限，油井中有 60~70% 的石油无法开采出来而成为“死井”，而运用生物工程技术手段有可能把这些死井救活。微生物采油已在一些国家见到了成效，引起了石油工业界的广泛兴趣。

微生物采油的第一项专利是美国微生物学家柏尔在 1946 年提出的，但当时并未引起人们的注意。40 年后，全世界进行微生物采油的试验已达数百次。试验过程一般是这样的：在地面用人工方法扩大培养采油微生物，然后把微生物连同营养物质一起注入油井中，封井 3~6 个月，再进行采油。这种采油方法工艺简单，操作方便，成本也很低廉，而且半年后平均可以增产 260%！而每桶石油开采费用只增加不到 50 美分。美国在 1981 年时就已经利用微生物采油试验获得了价值 6 亿美元的石油。

目前在石油钻井和提高石油采收率方面，美国的细菌多糖——黄杆菌因其效率高而受到世界各国石油工业界的青睐。

微生物采油给从“死井”中救活占储量过半的、粘滞性极强的油层带来了曙光，引起国际石油界人士的广泛重视，他们纷纷投资于生物工程，研究更加理想的微生物采油工程菌。

可见，在能源方面，生物工程技术使再生能源放出更加迷人的光彩，既节约了传统能源，又可以开发新能源，而且对提高石油开采率做出了重大贡献，使我们有充分的信心面对能源危机，“临危而不惧”。

冶金工业的能手

微生物的确是现代生物工程中的主角。小小的微生物不仅有本事开采“死井”中的石油，还可以作为浸矿剂，收集尾矿、贫矿和海洋中的金属，它的卓越才能深受人们注意。

微生物冶金，就是利用细菌的直接、间接作用，对矿石、废水、甚至海洋中的有用金属进行浸出和回收的过程。下面我们就来分别介绍这几方面微生物冶金的情况。

微生物回收矿石中的金属

随着现代工业的发展，许多含量丰富的高品位矿不断消耗，贫矿、尾矿日益增多。这些贫矿和尾矿如果弃之不用，就浪费了不少很有用的金属，十分可惜；可是如果设法从中提炼呢，又要耗费大量能源，污染也很严重。怎么办呢？随着生物工程的深入发展，利用有特殊本领的微生物及其代谢产物作为浸矿剂，可以把矿石、矿渣中的有色金属溶解并浸出。

这一工艺的奥秘是这样的：矿石中的金属，被微生物作用后产生的硫酸和高铁盐溶解，甚至是细菌牢牢地吸附在有色金属上，和它结合在一起，把这些金属从矿石中分离出来。

现在生产中所用的细菌主要是硫杆菌家族中的个别细菌，用这类细菌来浸铜，早已为各国所采用。美国用这种办法回收的铜占到总产量的 15%。目前，美国、加拿大、日本、澳大利亚、英国、联邦德国、南非、印度、俄罗斯等许多国家都在积极进行细菌冶金的研究和生产，细菌浸出的金属已有铜、铀、钴、镍、砷等十多种，但大规模的生产还只限于铜和铀。

铀的浸沥工艺比较特殊，采用的是原位开采——不是把铀矿挖到地面上来，利用菌液浸渍，而是把菌液经地下井浸滤金属，再将液体抽回到地面，回收金属。这种“地下液体冶金”的方法，最早应用于加拿大铀矿，而且是偶然发现的。1960 年，加拿大的一个铀矿开采两年之后，发现天然地下水中有大量溶解的铀，结果，1962 年一年中，他们从这种地下水中回收到的氧化铀竟达到了 1.3 万公斤。这种工艺还有一个优点，就是对地表面的破坏最少，成本也较低，对深层的或含量少的矿石开采起来也很容易。

目前，只有铜和铀的开采规模比较大。回收铜的方法一般是地表堆集法。这种方法铜的浸出周期比较长，但浸出规模非常大，可达几十亿吨，经济效益很明显。美国在矿山山谷兴建的堆浸设施，可以容纳 40 亿吨矿石，回收价值上百万英镑的铜；世界上的 20 个大矿山，每年用细菌浸出的铜可达数十万吨！

铀矿的浸出虽不象铜那样广泛，但由于核电站的需要，许多国家的采矿公司积极从贫铀矿、废铀矿中回收铀。从 1977 年起，加拿大每天要用细菌法处理铀矿 3000 吨。在国际原子能机构协助下，英、美、加等国组成了国际性科研协作组，分工开展研究工作。

美国还有七十多亿吨硫化矿床，平均含镍 0.2%，采用细菌浸出方法后，不但可以回收价值 600 亿美元的镍，还能回收四亿磅钴，价值 100 亿美元。

废水中金属的回收

利用微生物浓缩废水中的金属也是件一举两得的事情。第一可以回收金属，物尽其用；第二可以消除金属造成的污染。微生物为什么会浓缩废水中的金属呢？原来，微生物能使金属结合在自己的表面，再进入细胞内，越吸越多，自然就起到浓缩的作用了。

美国田纳西州橡树岭的国立实验室证明，微生物能从工业废水中消除重金属，如钴、镍、银、金、铀、镅，而且利用这种方法从稀溶液中回收金属也是可行的，常见的面包酵母菌就能积累占细胞总重量 20% 的铀。而非生物方法成本高，就不合算了。

海水中提取金属

生物工程还可以用于从海水中提取铀，这和从废水中提取金属的道理相同。联邦德国里希核子研究所的生物浓集法在这方面是很著名的。他们把蓝藻和绿藻经过专门培养，再放入海水中去浓集铀。这种藻类浓集铀的速度极快，很有发展前途。

近年来，国外细菌冶金方面的研究正在日新月异地发展，对精矿的浸出研究日益活跃，他们的目标是既回收贵重金属，又要除去精矿中的杂质；另外，工艺和设备以及在挑选更合格的细菌方面的研究也都取得了骄人的成绩。

化学工业上大展雄风

人们最初是从动物和植物那里取得有用的物质的，如棉、麻、毛、丝、皮革、染料等，正所谓“取之于自然，还之于自然”，这些都是可再生的物质。像我国东北鄂伦春族的狍皮衣、狍筋绳，赫哲族的鱼皮衣裤。到 19 世纪后期，许多种极有价值的物质可从煤焦油中获得，随着化学和工业的发展，廉价的石油就成为化工原料的主要来源了。但是，石油终究有限，特别是 70 年代初的石油危机后，各国对化工原料依赖石油的状况感到不安，于是许多人认为原料来源又将回归到煤和生物量上去了。

这些由植物通过光合作用合成糖后再转化成淀粉、纤维素、木质素中的生物量，是取之不尽，用之不竭的可再生资源，对它们的开发利用，生物工程无疑是责无旁贷的。生物工程在化学工业中的工作是这样进行的：先通过微生物或酶把再生能源转化成简单化合物，如酒精、甘油、丁醇等，再将发酵产物通过化学方法转化成为各种更为复杂的产物。

作为目前化学工业支柱的石油化工，往往用金属或金属化合物作为催化剂，为了加速催化反应，又常常采用高温高压（高达摄氏几百度和每平方英寸几百个大气压）带来的后果是能耗大、三废多。生物工程进入这一领域，将引起传统化学工业的工艺改革，出现省能源、少污染的新工艺。

前面我们介绍过的生物催化剂——酶，它的催化条件不需要高温、高压，只要在水溶液中，常温、常压和不高的酸碱度下，反应就能进行，可以大大降低设备的费用。

更重要的是，生物催化反应不同于一般的化工合成，必须每步分开进行，中间要经过分离，再进行下一步反应，而是反应一步完成。在生物反应系统中，合成的过程完全发生在细胞内，由细胞内的酶来逐步完成各个反应步骤。这样，比起化工合成来，生物催化省时又省钱。

还有一个我们关心的问题——污染问题。要知道，化工生产几乎是污染的代名词，废水、废气、废渣中的酸、碱及有毒物质，特别是农药生产，给周围环境造成严重的污染。而运用生物工程则能得到让我们满意的结果，如发酵后的废菌体和废液，经过厌氧或好氧消化，还可以产生沼气这样有用的气体。

可见，生物催化一进入传统的化工领域，就给原料来源、能源消耗、经济效益、环境保护等各方面带来了根本性的变化。不仅如此，传统微生物发酵工程还给人们提供了很多重要的化学产品，如柠檬酸、酒精、丙酮、丁醇；而且微生物代谢类型繁多，可以利用各种各样的原料，按照人们的需要，生

产丰富多彩的化工新产品，开辟化工原料生产的新途径。

那么，这些产品目前的开发情况怎样呢？

应用生物工程技术生产的化工原料有乙醇、丁醇、丙酮、醋酸等传统产品，这些产品在化学工业中无疑是不可缺少的；除此之外，由碳水化合物生产合成橡胶的原料已经在生产中应用；用来制造尼龙和香料的葵二酸已经用微生物酶法开发成功；用基因工程方法合成作为甜味剂和输液用的 L-苯丙氨酸，也是国内外的热门课题之一；原来从蓼蓝叶中提取的靛蓝，是天然的蓝色染料，后来用合成生产代替了天然产品，最近又用基因工程将假单胞菌中葵双氧酶的基因克隆到大肠杆菌，使大肠杆菌合成了相当数量的靛蓝。

当然，生物工程技术可为化工提供的产品还远不只这些。日本工业科学与技术研究所预测，到本世纪末，利用生物工程生产的大吨位化工产品将达到 250 亿美元的产值。今后随着基因工程和固定化技术的发展和完善，把生物催化工艺引入到化学工业中，大型化学反应装置恐怕将从化工厂中消失，而有 1/5 的化工产品将是运用生物反应器生产出来的，化学设备的投资额也会降低 1/5，能源消耗费用则下降一半以上。所以，生物工程必定会在化学工业这方天地中大显身手。

以上我们分别从六个方面介绍了世界上发达国家生物工程研究和开发的概况，希望读者能对目前生物工程的发展情形有个初步了解。

我们之所以要单独介绍发达国家的情况，是因为他们的研究、开发是处于世界领先地位的、有代表性的。“知己知彼、百战不殆”，我们也希望通过对比，充分认识各国在生物工程方面的发展优势和不足，也认清我国与发达国家之间的差距，抓住机遇认真学习，迎头赶上，争取在这场激烈的生物工程国际竞争中立于不败之地，并最终成为 21 世纪生物工程强国。那么，我国生物工程的发展情况又如何呢？

未来的生物工程

70年代前半期，以重组DNA技术和杂交肿瘤细胞技术为标志，生物工程新技术诞生了。它为人类开辟了一个能创造性地、更有效地利用生物资源的新世纪。至今，在短短的二十几年时间里，生物工程在世界范围内的蓬勃发展令世人瞩目，它所呈现的广阔应用前景更令人为之神往。所以，许多科学家们预言，生物工程将在下个世纪高科技发展中扮演主角，那么，它将如何扮演这个最重要的角色呢？

生物工程发展走向

技术上将大大改观

前面我们介绍过，重组DNA技术和杂交肿瘤细胞技术的突破，是以生命科学在分子水平和细胞水平上取得的深入发展为基础的；我们还可以看到，随后生物工程的每一重大进展和新技术的出现，也都是与生命科学以及其他相关科学的成就密切相联、相互推进的。各学科的综合正是我们这个时代科学发展的大趋势。

这里我们举一个重要的例子，就是被誉为新一代生物工程技术的蛋白质工程。蛋白质工程是在分子水平上研究蛋白质结构与功能的，它是结合计算机化学和蛋白质物理化学研究的发展而开拓出来的一个十分重要的领域，也是现代生物工程学研究与发展历史长河中继基因工程的工业化热之后掀起来的第二个浪潮。蛋白质工程将能定向设计出具有更优功能和特性的蛋白质、多肽，开发新一代生物药品和蛋白质产品，为生物工程其他领域中存在的诸多难题提供解决良机。

近些年来生物工程技术迅猛发展，与其初始阶段比较，面目已经有了很大的变化。例如作为一项新发展的基因靶技术——同源重组，将会更有效地用于开发转基因动物和植物，还可以用于基因治疗。多聚链反应技术是在对核酸复制机制和多聚酶的性能进行深入研究的基础上发展起来的，目前广泛地应用于基础研究、临床诊断和各种检测，而且应用范围还将不断得到拓展。

近年来一些新兴起来的生物工程“热门”，如反义核酸及其类似物、RNA拟酶和抗体酶、植物基因开关技术等，也都是颇有前途的技术。

现在，生物工程的发展日新月异，变化的势头仍在不断增强。因为今后生物工程技术的创造性发展仍然要以生命科学和有关基础研究作为先导和源泉，所以，美国、日本等技术先进国家和科学技术团体都十分重视基础研究，设计了“人类基因组的作图和测序”，以及“人类前沿科学”等宏伟蓝图。它们的进展和完成无疑将会大大推动生物工程的发展，扩展新的应用天地。

我们可以预计，在本世纪末的几年中，生物技术会日趋完善和成熟，蛋白质工程会有很大进展。进入21世纪，生物工程将越来越展现它作为高技术主角的风采，循着历史发展的轨迹，在各个领域不断取得新成就，开拓应用新领域；同时，它和其他高技术如微电子技术、材料技术等会更多地相互交叉和结合，从而出现新的生物工程技术，使现有的面貌大大改观。如日本已从1990年开始进行“生物计算机”的研究规划，最终目的是制造出具有人类某些高级智能的计算机系统，使其与人类并存和互补。可以想象这一计划如

果成功，将对人类的生存条件、对整个人类社会产生何等巨大而深远的影响。

更快的实用化步伐

生物工程发展还有一个重要趋向：从研究向开发转移的步子日益加快，从而加速了它的产业化和实用化。

自 1973 年第一个基因克隆和重组成功后，不出 10 年，第一个重组 DNA 药品人胰岛素就于 1982 年在美、英两国批准使用；而荷兰首先投入市场的猪牛痢疾疫苗比胰岛素投入市场还早半年。1975 年，第一个杂交肿瘤细胞株建成，之后不到六年，美国于 1981 年就出现了第一个单克隆抗体诊断药盒；“蛋白质工程”的概念 1981 年才明确提出来，1988 年第一个蛋白质工程产品——用于洗涤剂的枯草杆菌蛋白酶已被成功地开发出来了。1987 年美国 Cetus 公司取得多聚链反应技术（PCR）专利后，1990 年这个公司及其伙伴有关药盒和仪器的销售额就达到 2600 万美元！

我们可以看到，生物工程技术从研究到开发的周期一般都只有几年，虽然不同技术转移周期不会相同，但这么短的转移周期是前所未有的。而且我们可以预期，今后不仅转移周期会越来越短，技术和产品的更新换代也将日益加速。这将使产品研究开发的竞争更加尖锐、更加激烈。

我们再来看看被公认为当前生物工程研究和开发的先行者和世界中心的美国。

美国作为分子生物学的诞生地，重组 DNA 技术的发源地，在 70 年代末 80 年代初就掀起了重组 DNA 技术的工业化热潮，并鼓噪一时，风靡全球。迄今，美国已经得到药品和食品管理局（FDA）批准使用的重组 DNA 药品虽只有十余种，但进入临床前试验的重组 DNA 药品和疫苗已有百余种。其中，检测和诊断药盒的开发和应用既容易又方便，所以市场销售也很快。现在已有三百多种单抗药盒和 15 种 DNA 探针产品生产。农业、食品业和精细化工业方面则有数种产品进入市场。

当然，从世界范围内看，生物工程技术的产业化目前只能说是处于起始阶段，但科学家们预测，到下个世纪 20~30 年代，将必然出现一批具有相当规模的生物技术产业，它的重要性可能要超过计算机工业。

不过，生物工程在不同领域的产业化和实用化速度是不尽相同的。预计，到下世纪 20~30 年代，率先形成产业群的生物工程技术将主要是在医药保健和农牧业方面，接下来由于环境问题日益引起全世界普遍关注，环境保护方面会上升至第三位。生物治理将被作为地下水污染处理、漏溢石油处理和固体废物清除等方面的重要手段。可以设想，环境检测和治理的有关技术将加速发展，“工程菌”的选育和有关工业产品的生产都会迅速增长；还有生物降解塑料的研究也是许多技术先进国家十分重视和大力支持的项目，而且会在不久之后得到推广使用。

使传统产业革心换面

生物工程技术的发展使新兴的生物技术产业不断诞生，而另一方面，它也在向传统产业渗透：生产工艺改革、产品的数量和质量得到提高、生产成本降低、竞争能力增强。我们会欣喜地看到，生物工程技术将使传统生物制

品、精细化工产品、食品以及农业、纺织业、造纸业等许多产业革心换面，呈现出一片兴旺景象。

先看看纺织业将发生什么。科学家们正研究应用基因工程技术转移蜘蛛丝蛋白基因，通过微生物生产蜘蛛丝蛋白，提供给纺织业大量新的优质纤维原料；应用细胞离体培养技术培养棉花细胞、并使它转化成纤维细胞，将使粗细不同的棉纤维从工厂里生产出来，目前这项试验也已成功。这两项成果如果进入市场，无疑会给我们的生活带来不小的变化。

精细化工方面，利用主体培养的植物细胞，可以大量生产药物、香料、天然色素、化妆品原料等许多东西。两个成功的例子是日本的人参皂甙和紫宁草。

美国农业部开展了一项基因工程，即试图将巴西橡胶树的橡胶转移酶基因转移到一种北美产的多年生菊科植物或者酵母中，生产天然橡胶，他们预计这项开发将在本世纪末完成，这样就将解决美国本土天然橡胶的需求。

工业用酶有非常广泛的用途，可以用在洗涤剂、食品、皮革制品、造纸、纺织、检测和诊断等多方面，堪称多面手，在世界范围内具有广大的市场。著名的丹麦 NoVo 公司预测，几年后许多工业用酶都将通过基因工程和蛋白质工程技术生产，会具有更优异的性能，那时它在全世界的销售额会突破 15 亿美元。

此外，生物量的开发和利用、微生物采油的应用，使得因传统能源日益枯竭而面临严峻局面的能源工业再现生机。这方面的研究开发和应用还会日趋扩大。

生物工程技术与当今另一叱咤风云的高技术——微电子技术的结合，开发出了不少传感器，而生物芯片和其他生物电子元件的研究又将促进新一代计算机的研制和生产。

能自我组织、自我修复的材料无疑是我们梦想的理想材料。借助生物工程技术生产这类材料，将会彻底改变传统材料的设计和生产。

仪器、设备和试剂大发展

在 1991 年匹兹堡科学仪器展览会上，展品主要为令人眼花缭乱的医药和环境检测仪器。这些仪器占有 60 亿美元的世界市场，并且还在不断扩大。

这一趋向必将继续加快发展，更多新型的仪器、设备将出现在我们面前，它们将大大提高工作的效率和精确度。

开发海洋资源将成为必然趋势

大家知道，海洋占地球表面面积的 70%，有取之不尽用之不竭的生物资源，只是由于人类对之不够了解，加上海洋资源的开发不如陆地资源的开发容易而未加深切利用。可是，随着陆地资源的日益匮乏，我们对它们的利用终究有个限度。所以，海洋生物工程的研究和开发已引起了许多国家的重视。美国、日本等国都制定了开发海洋资源的计划，投入巨额的资金开展这方面的工作。预计到下个世纪，海洋生物资源的利用将呈现崭新的局面。

生物工程与未来社会

正如微电子技术在 20 世纪后半期对社会和经济发展的影响一样，扮演下个世纪高技术主角的生物工程技术也必将对社会经济的发展产生巨大的冲击。现在，美国不论在生物工程的基础研究还是应用开发方面都居国际领先地位，日本的发展则咄咄逼人，直逼美国的领袖地位，成为美国主要的竞争对手；英国自恃在分子生物学、植物学、生物化学等方面人才济济，提出要在这场生物工程竞赛中不败于世界科技强国；法国亦自认为在生物学基础研究方面有几位世界第一流的科学家，提出要在这场新技术革命中，使法国成为世界科学技术第三强国，成为欧洲的日本。

中国经过十多年来的发展，迄今也只有少数处于开发阶段，产业化和实用化举步维艰，与国际产业化程度粗略地加以比较，要落后 15 年左右，而且绝大部分研究开发项目都是移植西方的思路和技术，甚至重要的研究材料也是引进的，缺乏结合我国实际的有特色的工作和独创性工作。此外，由于现有基础、智力资源和研究开发经费等的种种限制，估计我国与国外的差距还会拉大。

如果说 20 世纪后 30 年是生物工程技术诞生及其产业化和实用化起步并成长的时期，那么，在这个时期中研究开发所开出的花，会有许多在 21 世纪前期结果。

在医药保健方面

随着新的药品不断出现和人类保健要求的提高，生物工程医药产品的市场无疑会非常大。据英国预测，2000 年仅作为治疗和显像用的抗体就有 60 亿美元的世界市场。

因为生物工程技术研究开发的种类大多集中在目前的疑难病症如心血管疾病、自身免疫性疾病、神经系统疾病、遗传性疾病以及肿瘤和艾滋病等，一批新的生物药品和疫苗涌现出来。可以设想，到 2030 年，这些疾病都有了各自的克星，而肿瘤和艾滋病都将不再是谈而生畏的“不治之症”了。另外，蛋白质工程的发展、人们对人体的深入了解，将使一些全新的高效、安全、稳定性好的蛋白质和多肽药品生产出来。

快速而灵敏的疾病诊断方法和药盒会更快速地发展。尤其是体外诊断药盒易于投产使用，已经形成了一定规模的产业，而且还会继续扩大规模。

基因工程疫苗是预防医学的有力武器。随着医药科技的进步，在发达国家传染病得到了有效的控制，但是新出现的艾滋病却在肆虐猖狂。而在发展中国家，传染病和寄生虫病仍在蔓延流行，造成很大危害。基因工程为大量生产纯净高效的疫苗开辟了新途径，也使多价疫苗的开发成为可能。疫苗的研制和生产是许多国家的主攻方向之一，它的广阔前景是不言而喻的，并极有可能成为艾滋病的克星。

基因治疗是临床医学全新的领域，这一设想的提出虽只有几年，但用基因转移和细胞移植技术来纠正因基因异常导致的遗传病和某些恶性肿瘤，已经让人们看到了希望。美国有两例这类病即严重综合性免疫缺陷症和转移黑色素瘤的治疗已为基因治疗拉开了帷幕。预计到下个世纪，基因治疗将逐渐普及应用于遗传病、某些肿瘤和老年性疾病的治疗。

农业和畜牧业方面

“绿色革命”浪潮正席卷全世界。生物工程技术给人类面临的粮食匮乏和优质食品需求问题的解决提供了出路，这恐怕也是唯一的出路。

动植物细胞和组织培养技术，是非常有应用价值的，它们对改良和培养新的优质、高产的农作物、蔬菜以及水果、林木都起着重大作用。而且人们预计，如合成芹菜“种子”的人工种子将在下个世纪大大发展。

再经过五年左右的时间，一批抗除莠剂、抗病毒和病虫害的水稻、玉米、小麦和豆类粮食作物会在地球上出现，如果加快这方面的研究，到下个世纪30年代，就会得到扩大推广，届时，农业生产会发生翻天覆地的变化，农药造成的环境污染问题也会迎刃而解。

改良植物的营养成分，提高抗旱能力，提高光合效能和固氮作用是植物基因工程中的重大研究课题，但预计到下个世纪才会有大的突破。

不过，对动物的转基因研究起步早，进展也较快，估计会对畜牧业和水产业的生产产生显著的影响。而且，转基因动物和转基因植物还可以应用于生物药品和蛋白质产品的生产，并已经有了令人振奋的进展。另外，农用的和畜用药盒、疫苗也将得到广泛的应用和发展。

所以，生物工程对农业的冲击将是巨大的，将来的农业生产，不仅生产力会大大提高，农业生产结构也会有很大的改变，农产品将可以从工厂中源源不断地生产出来，而不再单纯依靠土地生产。

对环境污染的监测和治理

环境对社会和经济发展有着十分重要的意义。生态系统的恶化引起人们的普遍关注，生物工程技术在解决这些日益困扰人类的严重问题中将显示其所独具的优越性的作用。如构建特定功能的微生物，使它们有效地分解环境中那些自然界自身难以处置的农药、化肥和固体垃圾等有害物质。这项技术的实现已为期不远了。

科学和技术是紧密联系在一起、相辅相成的。生物技术的崛起和发展乃起源于生物科学基础研究和科学技术的成就，而它的出现又影响并推动着生物科学全面地向分子、亚细胞和细胞水平深入发展，并不断取得新成就。

今后，生物科学基础研究的一些重大领域仍将对生物技术的发展起着重大的影响作用。如对蛋白质结构和功能的研究；对蛋白质、核酸等这些生物大分子之间关系的研究，对染色体结构、定位插入的研究，对肿瘤、遗传性疾病、心脑血管疾病、神经系统疾病及其他疑难病症病因的研究，对光合作用的研究和生物固氮的研究等领域的每一项进展都将与生物工程技术的发展息息相关。

对社会的冲击

生物工程技术拥有改变自然的力量。基因工程创造出来的超级鼠、巨鱼、巨羊等，曾在社会上掀起轩然大波，甚至引起一些人的恐慌。由此带来了一系列有关生态环境、伦理道德、社会和法律方面的问题，如生物工程技术的安全性和危险性、基因工程生物的释放和扩散问题，知识产权引出的技术垄

断和保密问题，某些遗传和生殖方面的研究成果所引出的道德、伦理、法律和社会问题等等。这些问题已经引起了不少纠纷和争论，如果不能及时妥善解决，就会阻碍生物工程技术的发展及其产业化进程。

