

普通高中课程标准实验教科书

生物

选修3

现代生物科技专题

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
生物课程教材研究开发中心



人教版®

人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书 生物 选修3 现代生物科技专题

人民教育出版社 课程教材研究所
生物课程教材研究开发中心 编著

出版发行 人民教育出版社

(北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编:100081)

网 址 <http://www.pep.com.cn>

经 销 全国新华书店

印 刷 人民教育出版社印刷厂

版 次 2007年2月第2版

印 次 2019年7月第47次印刷

开 本 890毫米×1240毫米 1/16

印 张 8.25

字 数 195千字

书 号 ISBN 978-7-107-17752-1

定 价 9.55元

价格依据文件号:京发改规[2016]13号 地图批准号:(2004)121号

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或本产品任何部分·违者必究

如发现内容质量问题,请登录中小学教材意见反馈平台:jcyjfk.pep.com.cn

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与本社联系。电话:400-810-5788

绿色印刷 保护环境 爱护健康

亲爱的同学们:

你们手中的这本教科书采用绿色印刷标准印制,在它的封底印有“绿色印刷产品”标志。从2013年秋季学期起,北京地区出版并使用的义务教育阶段中小学教科书全部采用绿色印刷。

按照国家环境标准(HJ2503-2011)《环境标志产品技术要求 印刷 第一部分:平版印刷》,绿色印刷选用环保型纸张、油墨、胶水等原辅材料,生产过程注重节能减排,印刷产品符合人体健康要求。

让我们携起手来,支持绿色印刷,选择绿色印刷产品,共同关爱环境,一起健康成长!

北京市绿色印刷工程

主 编

朱正威 赵占良

编写人员(按执笔专题顺序)

敖光明 葛荣朝 吴中红 张忠诚 高崇明

程 序 邱化蛟

参加讨论的有: 薛静尧 卓 婧 孙闻闻 王 莉

于 璇 吴成军 鲍平秋 张 华

责任编辑

王真真

美术编辑

林荣桓

设 计

北京大洋立恒设计有限公司 储志伟

审 读

王存志

电脑制作

顾 涛 王 同

插图绘制

张傲冰 姜吉维 杨世海 北京京河源图文设计公司

摄影或提供照片

朱 京 张忠诚 敖光明 包春莹 吴中红 邱化蛟 葛荣朝

王 莉 邓 佳 宗 标 刘建民 叶佩珉 李文鼎 熊林春

江 南 黄宗福 朱正歌 王真真 中国图片网等

部分照片摘自《回顾与展望》《光辉的十年》《现代社会中的生物学》

《中国高技术发展研究计划十五年》《中国环境保护》等书刊

目 录

致同学们 生物科技创造美好未来



专题1 基因工程	1
科技探索之路 基础理论和技术的发展催生了基因工程	2
1.1 DNA 重组技术的基本工具	4
1.2 基因工程的基本操作程序	8
拓展视野 历史不能忘记中国科学家对PCR 的贡献	16
1.3 基因工程的应用	17
拓展视野 神奇的基因芯片	24
1.4 蛋白质工程的崛起	26



专题2 细胞工程	31
科技探索之路 细胞工程的发展历程	32
2.1 植物细胞工程	33
2.1.1 植物细胞工程的基本技术	33
2.1.2 植物细胞工程的实际应用	38
拓展视野 植物生长调节剂在组织培养中的神奇作用	42
2.2 动物细胞工程	44
2.2.1 动物细胞培养和核移植技术	44
拓展视野 核移植技术发展简史	51
2.2.2 动物细胞融合与单克隆抗体	52
拓展视野 多利羊猜想	55



专题3	胚胎工程	59
	科技探索之路 胚胎工程的建立	60
3.1	体内受精和早期胚胎发育	61
3.2	体外受精和早期胚胎培养	69
3.3	胚胎工程的应用及前景	74
	拓展视野 话说哺乳动物的性别控制	82



专题4	生物技术的安全性和伦理问题	85
	科技探索之路 生物技术发展与社会进步	86
4.1	转基因产品的安全性	87
4.2	关注生物技术的伦理问题	91
4.3	禁止生物武器	96



专题5	生态工程	99
	科技探索之路 生态工程的兴起	100
5.1	生态工程的基本原理	101
	拓展视野 前景广阔的沼气工程	108
5.2	生态工程的实例和发展前景	110
	拓展视野 定量评估我国陆地生态系统的固碳效应	122

生物科技创造美好未来

“离离原上草，一岁一枯荣。野火烧不尽，春风吹又生。”

“接天莲叶无穷碧，映日荷花别样红。”

我们的祖先对生命的热爱，洋溢在千古流传的名篇佳句之中。人类对生命世界的讴歌和思考，融入了各个民族的文学、艺术、哲学与情感。人类是生命世界的成员，与其他生物惺惺相惜。人类的生存离不开生物，与其他生物息息相关。

对生物的观察与改造，是人类历史发展的重要组成部分。谷物的种植、猎物的驯养、养蚕缫丝、酒曲酿酒，都是生物技术的开始，也是人类文明的曙光。但是，直至19世纪，我们才知道生命世界的统一性——进化上的同源与结构和功能上的统一。20世纪开始的那几个星期，“孟德尔定律”重新被发现，人们才知道生物代代繁衍中的发展变化，是有着内在的遗传规律的。50年代初发现的DNA“双螺旋”结构，合理地解答了生命的连续性与多样性，奠定了生命科学的分子基础。70年代的基因工程，使人类第一次试图像工程师那样设计生命，尽管才刚刚开始。90年代的“人类基因组计划”，使我们逐渐接近生命的核心奥妙：生命不仅是物理的、化学的，生命还是数据的。

生命科学家得天独厚。生物科技的奇妙之处在于“巧夺天工”——借用自然提供的“工作母机”，而不需要像工程师制造任何一个机器那样从制造每一个零件开始：克隆基因，可以借用自然的细胞；克隆羊，可以借用母羊现成的生殖系

统。植物与动物细胞的克隆，可以用现有的植物组织或动物的干细胞进行。完全可以预测，随着对“生命是数据的”的进一步理解与生物技术的进一步发展，在不久的将来，人类将重新设计生命的蓝图。

生命科学家肩负重任。自古以来，人类与其他生物相依相伴，同时也受到来自其他生物的伤害与威胁。在食不果腹、猛兽伺隙的条件下，人类艰难地度过了自己的“童年”。随着科学技术的发展和人类文明的演进，人类利用其他生物、抵御有害生物的能力不断增强，但是，始终未能摆脱疾病的威胁。人类的疾病所带来的灾难，远远超过了人类历史上的所有战争；人类改造自然能力的提高，又使人与自然之间出现许多不和谐的因素。这些问题的解决，都有赖于生命科学的发展。生命科学改变了人类在自然界的地位，同时也改变着人类在自然科学研究中的位置。在物理和化学的研究中，人类是研究的主体；而生命科学研究中的人类，既是研究的主体，同时又成了研究的对象和这些技术应用的对象。正因为如此，生命科学对我们的生活以及整个社会的冲击，都更加广泛、更加深刻。也正因为如此，对生命科学伦理问题和生物技术安全问题的思考，成为生命科学家的新的历史与社会责任。

生命是美丽的，对它的欣赏使我们产生接近它的强烈欲望；生命是复杂的，对它的探索可以满足我们与生俱来的好奇心。也许今天，我们赞颂生命，是因为它的千姿百态与奇妙无比；而明天，我们会发现生命是最有规律的，也是最为简洁、明快的；而将来，我们迎来的将是一个更为理智、和谐、美妙的生命世界！

让我们一起讴歌生命世界的美丽，分享生物科技的美妙与神奇，探索生命的奥秘，其乐无穷！从事生物科技的研究，不仅使我们自己的人生更为美好，也将使包括人类在内的生命世界更为美丽！

让我们一起来学习《现代生物科技专题》——基因工程、细胞工程、胚胎工程、生态工程、生物技术的安全性和伦理问题，它将使我们深入了解现代生物科技的进展和意义；阅读、思考、讨论、调查、资料的搜集和分析，它将大大拓展我们的视野，提高我们分析和解决问题的能力。还有那凝结着同学们汗水的一篇篇调查报告和专题综述，不仅会拓展我们学习的内容，更记录着我们共同成长的足迹。

杨晓红



专题 1 基因工程

我们知道，烟草中含有的尼古丁是人类健康的杀手。但你听说过将烟草改造成可以生产医用蛋白的植物这一说法吗？其实，人们只要将能够生产药物蛋白的基因导入烟草中，烟草就可以变成批量生产药物蛋白的工厂；当我们将这些蛋白质从烟草的叶片中提取出来，经纯化制成药物时，人类健康的杀手——烟草，就变成了人类健康的“保护神”。

这样的奇思妙想，如今已不是天方夜谭式的神话，而是20世纪70年代初兴起的高新科技——基因工程带给人类的福音。让我们一起来关注基因工程的由来，以及它的迅猛发展吧！



基因工程是指按照人们的愿望，进行严格的设计，并通过体外DNA重组和转基因等技术，赋予生物以新的遗传特性，从而创造出更符合人们需要的新的生物类型和生物产品。由于基因工程是在DNA分子水平上进行设计和施工的，因此又叫做DNA重组技术。



艾弗里



DNA双螺旋结构模型



限制性内切酶是分子的手术刀

基因工程是在生物化学、分子生物学和微生物学等学科的基础上发展起来的，正是这些学科的基础理论和相关技术的发展催生了基因工程。

20 世纪中叶，基础理论取得了重大突破

● **DNA 是遗传物质的证明** 1944 年，艾弗里 (O. Avery) 等人通过不同类型肺炎双球菌的转化实验，不仅证明了生物的遗传物质是 DNA，还证明了 DNA 可以从一种生物个体转移到另一种生物个体。艾弗里等人的工作可以说是基因工程的先导。

● **DNA 双螺旋结构和中心法则的确立** 1953 年，沃森 (J. D. Watson) 和克里克 (F. Crick) 建立了 DNA 双螺旋结构模型。1958 年，梅塞尔松 (M. Meselson) 和斯塔尔 (F. Stahl) 用实验证明 DNA 的半保留复制。随后不久确立的中心法则，解开了 DNA 复制、转录和翻译过程之谜，阐明了遗传信息流动的方向。

● **遗传密码的破译** 1963 年，尼伦伯格 (M. W. Nirenberg) 和马太 (H. Matthaei) 破译编码氨基酸的遗传密码。1966 年，霍拉纳 (H. G. Khorana) 用实验证实了尼伦伯格提出的遗传密码的存在。这些成果不仅使人们认识到，自然界中从微生物到人类共用一套遗传密码，而且为基因的分离和合成等提供了理论依据。

技术发明使基因工程的实施成为可能

● **基因转移载体的发现** 1967 年，罗思 (T. F. Roth) 和赫林斯基 (D. R. Helinski) 发现细菌拟核 DNA 之外的质粒有自我复制能力，并可以在细菌细胞间转移，这一发现为基因转移找到了一种运载工具。

● **工具酶的发现** 1970 年，阿尔伯 (W. Arber)、内森斯 (D. Nathans)、史密斯 (H. C. Smith) 在细菌中发现了第一个限制性内切酶 (简称限制酶) 后，20 世纪 70 年代初相继发现了多种限制酶和连接酶，以及逆转录酶，这些发现为 DNA 的切割、连接以及功能基因的获得创造了条件。

● DNA合成和测序技术的发明 自1965年,桑格(F. Sanger)发明氨基酸序列分析技术后,1977年,科学家又发明了DNA序列分析的方法,为基因序列图的绘制提供了可能,之后,DNA合成仪的问世又为引物、探针和小分子量DNA基因的获得提供了方便。

● DNA体外重组的实现 1972年伯格(P. Berg)首先在体外进行了DNA改造的研究,成功地构建了第一个体外重组DNA分子。

● 重组DNA表达实验的成功 1973年,博耶(H. Boyer)和科恩(S. Cohen)选用仅含单一EcoRI酶切位点的载体质粒pSC101,使之与非洲爪蟾核糖体蛋白基因的DNA片段重组。重组的DNA转入大肠杆菌DNA中,转录出相应的mRNA。这个实验证明了质粒不仅可以作为基因工程的载体,重组DNA还可以进入受体细胞,外源基因可以在原核细胞中成功表达,并实现物种之间的基因交流。至此,基因工程正式问世。

● 第一例转基因动物问世 1980年,科学家首次通过显微注射培育出世界上第一个转基因小鼠。1983年,科学家又采用农杆菌转化法,培育出世界上第一例转基因烟草。此后,基因工程进入了迅速发展阶段。

● PCR技术的发明 基因工程问世后,1988年由穆里斯(K. Mullis)发明的PCR技术,使基因工程技术得到了进一步发展和完善。

上述仅是简要提及基础理论的突破和技术的创新。有些你已经学习过,更多的将在本专题中展开。科学提供对自然界的说明,技术将科学原理转化为工艺和产品,从而造福于人类。科学、技术、社会的互动,不断调整着人类与自然界的关系,推动着文明的进展。



伯格



转基因小鼠(下)
与对照小鼠

1.1 DNA 重组技术的基本工具



图 1-1 抗虫棉 (左侧为对照)

► 寻根问底

根据你所掌握的知识, 你能推测这类酶存在于原核生物中的作用是什么吗?

“工欲善其事, 必先利其器”。我国拥有自主知识产权的转基因抗虫棉, 就是通过精心设计, 用“分子工具”构建成的。培育抗虫棉首先要在体外对含有抗虫基因的DNA分子进行“切割”、改造、修饰和“拼接”, 然后, 导入棉花体细胞内, 并使重组DNA在细胞中表达。实现这一精确的操作过程至少需要三种工具, 即准确切割DNA的“手术刀”、将DNA片段再连接起来的“缝合针”、将体外重组好的DNA导入受体细胞的“运输工具”。科学家已经找到并运用了这三种必需的工具, 才使培育抗虫棉这一奇妙构想变成了现实 (图 1-1)。

限制性核酸内切酶——“分子手术刀”

切割DNA的工具是限制性核酸内切酶 (restriction endonucleases), 又称限制酶 (restriction enzyme)。这类酶主要是从原核生物中分离纯化出来的。迄今已从近 300 种不同的微生物中分离出了约 4 000 种限制酶。它们能够识别双链DNA分子的某种特定核苷酸序列, 并且使每一条链中特定部位的两个核苷酸之间的磷酸二酯键 (图 1-2) 断开。大多数限制酶的识别序列由 6 个

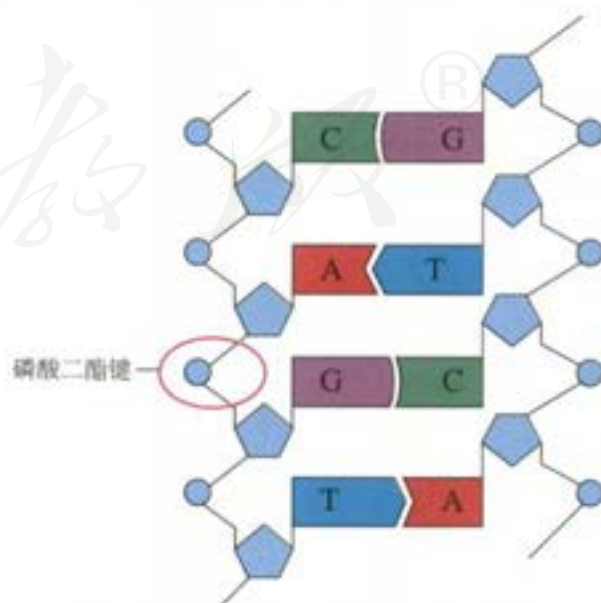


图 1-2 双链 DNA 结构和磷酸二酯键位置

核苷酸组成，例如，*EcoRI*、*SmaI*限制酶识别的序列均为6个核苷酸，也有少数限制酶的识别序列由4、5或8个核苷酸组成。DNA分子经限制酶切割产生的DNA片段末端通常有两种形式——黏性末端和平末端（图1-3）。当限制酶在它识别序列的中心轴线（图中虚线）两侧将DNA的两条链分别切开时，产生的是黏性末端，而当限制酶在它识别序列的中心轴线处切开时，产生的则是平末端。

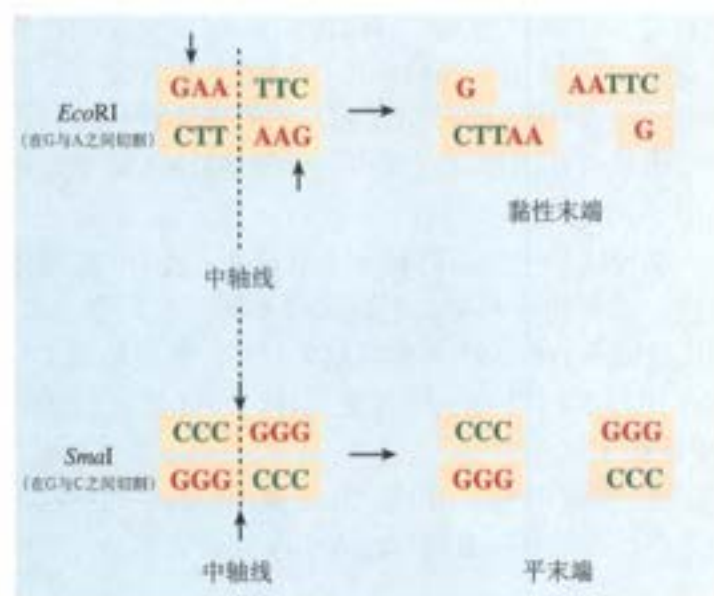


图 1-3 切割 DNA 分子时产生的两种不同末端（箭头表示酶的切割位置）

DNA 连接酶 —— “分子缝合针”

将切下来的DNA片段拼接成新的DNA分子，是靠DNA连接酶来完成的。1967年，世界上几个实验室几乎同时发现了一种能够将两条DNA链连接起来的酶，称之为DNA连接酶（DNA ligase）。根据酶的来源不同，可以将这些酶分为两类：一类是从大肠杆菌中分离得到的，称为*E. coli* DNA连接酶；另一类是从*T₄*噬菌体中分离出来的，称为*T₄* DNA连接酶。这两类酶都是将双链DNA片段“缝合”起来，恢复被限制酶切开的两个核苷酸之间的磷酸二酯键（图1-4），但这两种酶的作用有所差别：*E. coli* DNA连接酶只能将双链DNA片段互补的黏性末端之间连接起来，不能将双链DNA片段平末端之间进行连接。而*T₄* DNA连接酶既可以“缝合”双链DNA片段互补

生物技术资料卡

限制酶的名字怎么起？

限制酶的名字是怎么起的呢？是用生物属名的头一个字母与种名的头两个字母，组成了3个字母的略语，以此来表示这个酶是从哪个生物中分离出来的。例如，一种限制酶是从大肠杆菌（*Escherichia coli*）的R型菌株分离出来的，就用字母*EcoR*表示；如果它是从大肠杆菌R菌株中分离出来的第一个限制酶，则进一步表示成*EcoRI*。



图 1-4 DNA 分子的切割和连接

► 寻根问底

DNA 连接酶与 DNA 聚合酶是一回事吗？为什么？

想一想，具备什么条件才能充当“分子运输车”？

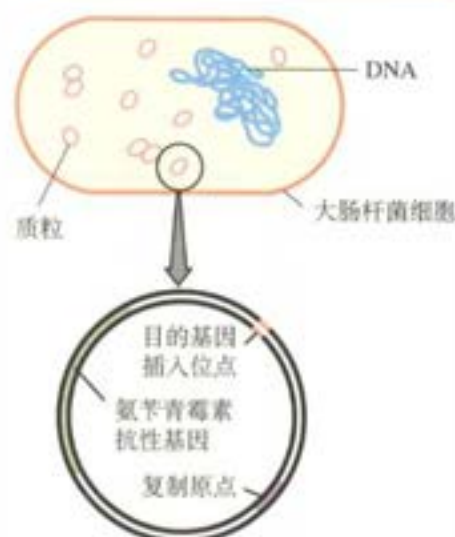


图 1-5 大肠杆菌及质粒载体结构模式图

的黏性末端，又可以“缝合”双链 DNA 片段的平末端，但连接平末端之间的效率比较低。

基因进入受体细胞的载体——“分子运输车”

用什么方法才能将外源基因送入细胞中呢？通常是利用质粒 (plasmid) 作为载体 (vector)，将基因送入细胞中。质粒是一种裸露的、结构简单、独立于细菌拟核 DNA 之外，并具有自我复制能力的很小的双链环状 DNA 分子。质粒 DNA 分子上有一个至多个限制酶切割位点，供外源 DNA 片段 (基因) 插入其中。携带外源 DNA 片段的质粒进入受体细胞后，在细胞中进行自我复制，或整合到染色体 DNA 上，随染色体 DNA 进行同步复制。质粒 DNA 分子上有特殊的标记基因，如四环素抗性基因、氨苄青霉素抗性基因等标记基因，供重组 DNA 的鉴定和选择 (图 1-5)。

在基因工程中使用的载体除质粒外，还有 λ 噬菌体的衍生物、动植物病毒等。它们来源不同，在大小、结构、复制以及插入片段大小上也有很大差别。这些基因工程载体的作用，就相当于一种运输工具，因此将它们比喻为“分子运输车”。

在进行基因工程操作中，真正被用作载体的质粒，都是在天然质粒的基础上进行过人工改造的。



模拟制作

重组 DNA 分子的模拟操作

目的要求

模拟重组 DNA 分子的操作过程，说出其基本原理。

材料用具

两种颜色 (如绿色和粉红色) 的硬纸板，剪刀 (代表 *EcoRI*)，透明胶条 (代

表 DNA 连接酶)。

方法步骤

1. 选两种颜色的等宽硬纸板，如绿色纸板和粉红色纸板。在绿硬纸板上依次等距离写上下列字母 (字母要清晰、工整)：

..... ATAGCATGCTATCCATGAATTCGGCATAAC

..... TATCGTACGATAGGTACTTAAGCCGTATG

在粉红色硬纸板上依次等距离写上下列字母：

..... TCCTAGAATTCTCGGTATGAATTCCATAC

..... AGGATCTTAAGAGCCATACTTAAGGTATG

2. 用剪刀（代表 *EcoRI*）进行 DNA “切割”。先分别从两块硬纸板上的一条 DNA 链上找出 G-A-A-T-T-C 序列，并选 G-A 之间作切口进行“切割”；然后再从另一条链上互补的碱基之间寻找 *EcoRI* 相应的切口剪开。

3. 待绿、粉红两色硬纸板上的切割位点全部切开后，将粉红色纸板上的 DNA 片段，重组到绿色硬纸板的切口处。此时用不干胶（代表 DNA 连接酶）将切口黏结起来。这样你就完成了一个重组 DNA 分子的模拟制作。

如果你的操作是正确的，不同颜色的

黏性末端能互补配对。如果你制作的黏性末端不能互补配对，说明你的操作有误，应重新做一次。

思考与讨论

请按真实操作过程思考一下：

1. 你模拟插入的 DNA 片段能称得上一个基因吗？
2. 如果你操作失误，碱基不能配对，可能是什么原因造成的？

进一步模拟操作

如果你有兴趣，可自制有 *SmaI* 切割位点的纸板，然后按上述步骤剪切和连接，制成一个新的重组 DNA 分子。



思考与探究

1. 限制酶在 DNA 的任何部位都能将 DNA 切开吗？以下是四种不同限制酶切割形成的 DNA 片段：

- | | | | |
|---------------|------------|------------|---------------|
| (1) ... CTGCA | (2) ... AC | (3) GC ... | (4) ... G |
| ... G | ... TG | CG ... | ... CTTAA |
| (5) ... G ... | (6) ... GC | (7) GT ... | (8) AATTC ... |
| ACGTC ... | ... CG | CA ... | G ... |

你能用 DNA 连接酶将它们连接起来吗？

_____和_____能连接形成_____；

_____和_____能连接形成_____；
_____和_____能连接形成_____。

2. 联系你已有的知识，想一想，为什么限制酶不剪切细菌本身的 DNA？
3. 天然的 DNA 分子可以直接用做基因工程载体吗？为什么？
4. 网上查询：DNA 连接酶有连接单链 DNA 的本领吗？

1.2 基因工程的基本操作程序

► 求异思维

你能推测出由 mRNA 反转录形成 cDNA 的过程大致分为哪些步骤吗？查阅相关的书籍，看看书中所述是否与你的想法相似。

基因工程的基本操作程序主要包括四个步骤：目的基因的获取、基因表达载体的构建、将目的基因导入受体细胞、目的基因的检测与鉴定（图 1-6）。

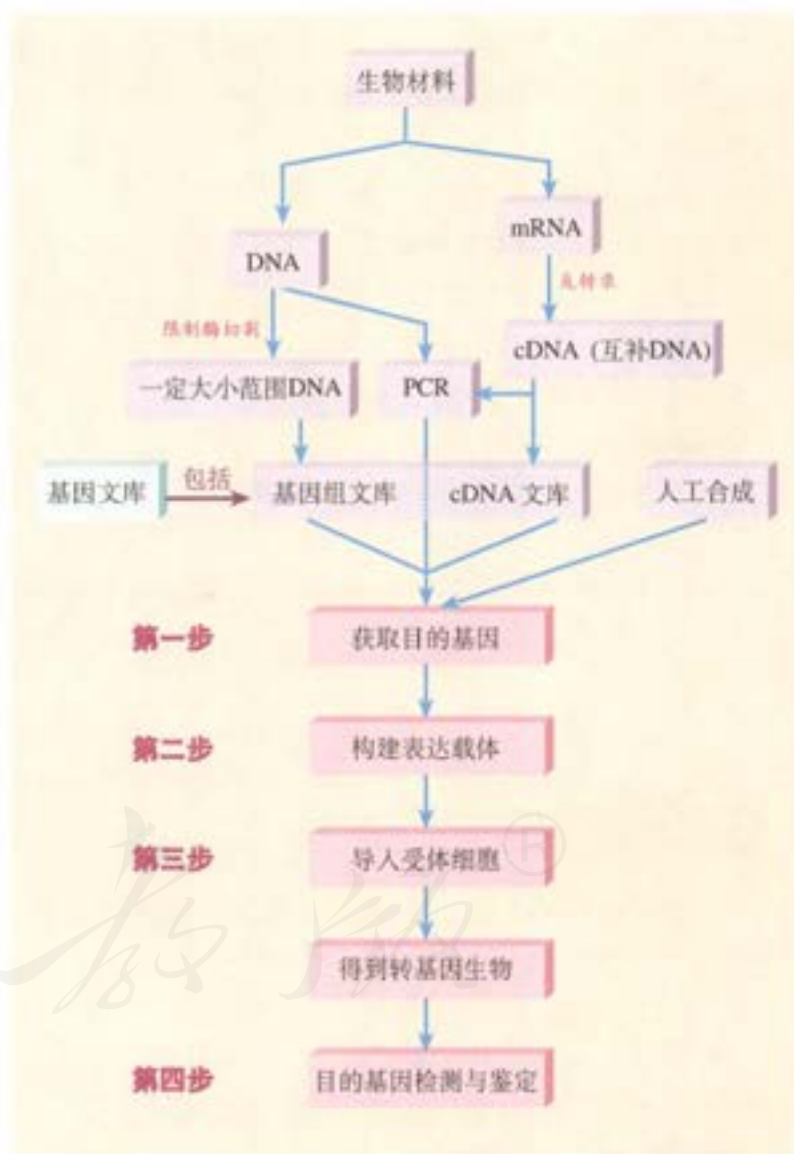


图 1-6 基因工程的基本操作流程

目的基因的获取

获取目的基因是实施基因工程的第一步。目的基因可以从自然界中已有的物种中分离出来，也可以用人工的方法

法合成。目的基因主要是指编码蛋白质的基因，例如，与生物抗逆性相关的基因、与优良品质相关的基因、与生物药物和保健品相关的基因、与毒物降解相关的基因，以及与工业所需用酶相关的基因等，也可以是一些具有调控作用的因子。

随着科学技术的发展，获取目的基因的方法也越来越多，目前常用的方法有以下几种。

从基因文库中获取目的基因

将含有某种生物不同基因的许多DNA片段，导入受体菌的群体中储存，各个受体菌分别含有这种生物的不同基因，称为基因文库（gene library）。基因文库就像一座图书馆，每一个基因就是一本“书”。如果一座“图书馆”中包含了一种生物所有的基因，那么，我们就可以说这个基因文库很大，就像国家图书馆，这种基因文库叫做基因组文库（genomic library）。也有一些基因文库比较小，就像某个市或某个单位的图书馆，只包含了一种生物的一部分基因，这种基因文库叫做部分基因文库，如cDNA文库（图1-7）。怎样从基因文库中得到我们所需的基因呢？这还是一件比较复杂的事情，简单地说就是根据目的基因的有关信息，例如，根据基因的核苷酸序列、基因的功能、基因在染色体上的位置、基因的转录产物mRNA，以及基因的表

寻根问底

为什么要构建基因文库？直接从含目的基因的生物体内提取不行吗？

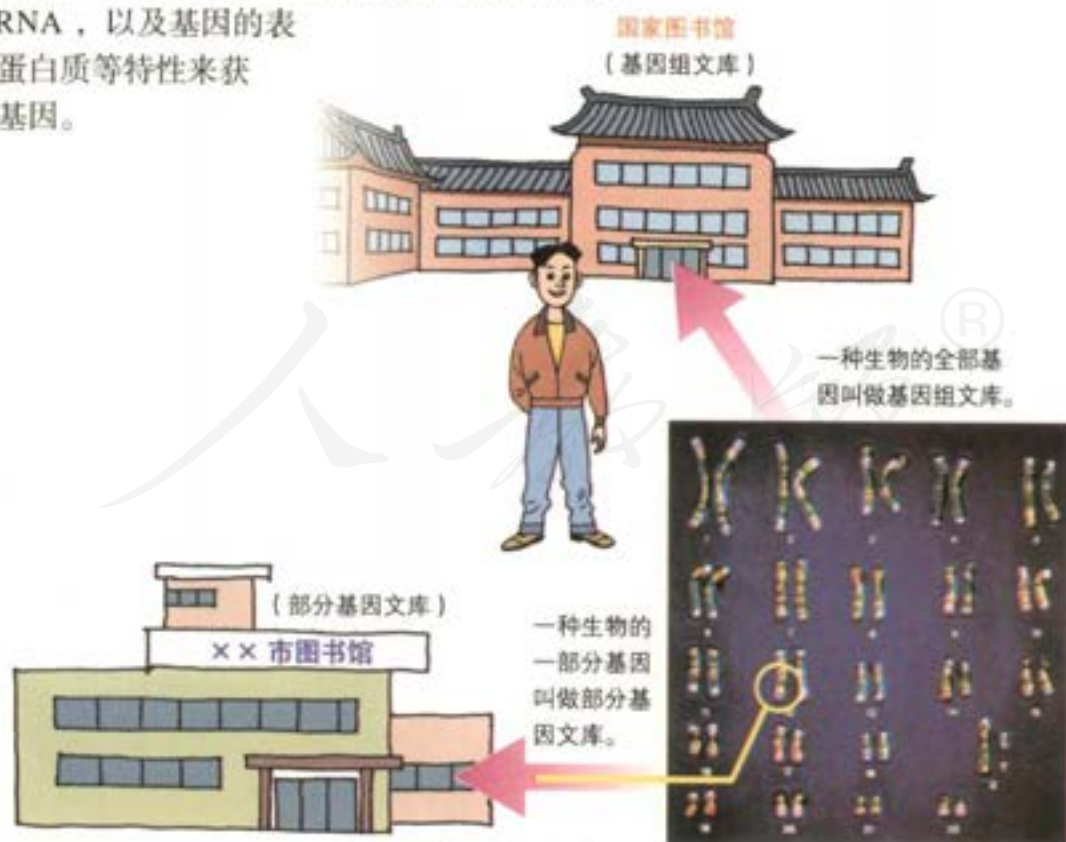


图 1-7 基因组文库和部分基因文库

基因文库的构建

将某种生物体内的 DNA 全部提取出来，选：做这种生物的基因组文库。如果用某种生物发
用适当的限制酶，将 DNA 切成一定范围大小的：育的某个时期的 mRNA 反转录产生的多种互补
DNA 片段，然后，将这些 DNA 片段分别与载：DNA（也叫 cDNA）片段，与载体连接后储存
体连接起来，导入受体菌的群体中储存，每个：在一个受体菌群中，那么，这个受体菌群体就
受体菌都含有了一段不同的 DNA 片段。也就：叫做这种生物的 cDNA 文库。两种基因文库的
说，这个群体包含了这种生物的所有基因，叫：主要区别如下表所示。

文库类型	cDNA 文库	基因组文库
文库大小	小	大
基因中启动子（具有启动作用的 DNA 片段）	无	有
基因中内含子（位于编码蛋白质序列内的非编码 DNA 片段）	无	有
基因多少	某种生物的部分基因	某种生物的全部基因
物种间的基因交流	可以	部分基因可以

利用 PCR 技术扩增目的基因

PCR 是多聚酶链式反应（polymerase chain reaction）的缩写。这项技术是由穆里斯（K. Mullis）等人于 1988 年发明的，因此，穆里斯于 1993 年获得诺贝尔化学奖。PCR 是一项在生物体外复制特定 DNA 片段的核酸合成技术。通过这一技术，可以在短时间内大量扩增目的基因。

PCR 的原理和做法并不难，它是利用 DNA 双链复制的原理，将基因的核苷酸序列不断地加以复制，使其数量呈指数方式增加（图 1-8）。利用 PCR 技术扩增目的基因的前提，是要有一段已知目的基因的核苷酸序列，以便根据这一序列合成引物。扩增的过程是：目的基因 DNA 受热变性后解链为单链，引物与单链相应互补序列结合，然后在 DNA 聚合酶作用下进行延伸，如此

重复循环多次。由于延伸后得到的产物同样

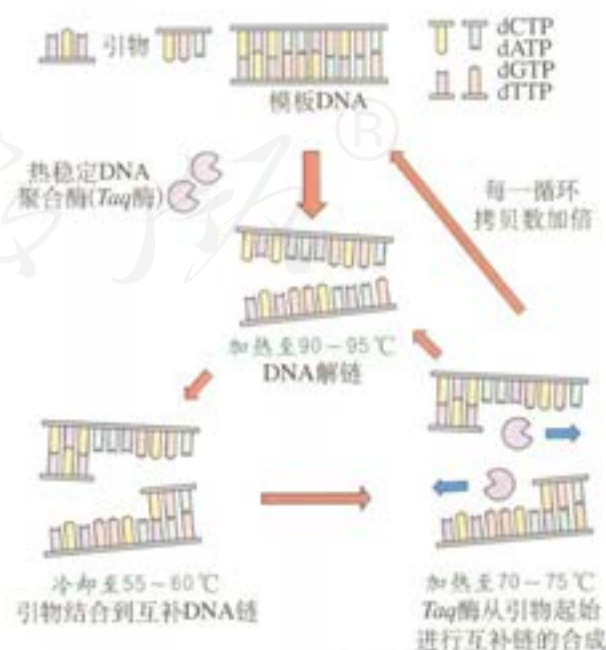


图 1-8 PCR 反应原理示意图

可以和引物结合，因而每一次循环后目的基因的量可以增加一倍，即成指数形式扩增（约为 2^n ，其中 n 为扩增循环的次数）。上述过程可以在 PCR 扩增仪中自动完成（图 1-9）。



图 1-9 PCR 扩增仪

此外，如果基因比较小，核苷酸序列又已知，也可以通过 DNA 合成仪用化学方法直接人工合成。

基因表达载体的构建

基因表达载体的构建是实施基因工程的第二步，也是基因工程的核心。其目的是使目的基因在受体细胞中稳定存在，并且可以遗传给下一代，同时，使目的基因能够表达和发挥作用。因此，一个基因表达载体的组成，除了目的基因外，还必须有启动子（promoter）、终止子（terminator）以及标记基因（图 1-10）等。启动子是一段有特殊结构的 DNA 片段，位于基因的首端，它是 RNA 聚合酶识别和结合的部位，有了它才能驱动基因转录出 mRNA，最终获得所需要的蛋白质。终止子相当于一盏红色信号灯，使转录在所需要的地方停止下来。终止子位于基因的尾端，也是一段有特殊结构的 DNA 短片段。标记基因的作用是为了鉴别受体细胞中是否含有目的基因，从而将含有目的基因的细胞筛选出来，如抗生素抗性基因就可以作为这种基因。

另外，由于受体细胞有植物、动物、微生物之分，以及目的基因导入受体细胞的方法不同，因此，基因表达载体的构建上也会有所差别，不可能是千篇一律的。

将目的基因导入受体细胞

将目的基因导入受体细胞是实施基因工程的第三步。



图 1-10 基因表达载体模式图

寻根问底

将生物的所有 DNA 直接导入受体细胞不是更简便吗？如果这么做，结果会怎样？

目的基因进入受体细胞内，并且在受体细胞内维持稳定和表达的过程，称为转化（transformation）。用什么方法将目的基因导入受体细胞呢？目前已开发出来的方法有很多种，每种方法都有其利弊，适合于不同的受体细胞。究竟选用哪种方法，要根据具体情况而定。下列介绍几种常用的转化方法。

将目的基因导入植物细胞

将目的基因导入植物细胞采用最多的方法是农杆菌转化法。农杆菌是一种在土壤中生活的微生物，能在自然条件下感染双子叶植物和裸子植物，而对大多数单子叶植物没有感染能力。当植物体受到损伤时，

伤口处的细胞会分泌大量的酚类化合物，吸引农杆菌移向这些细胞，这时农杆菌中的Ti质粒上的T-DNA（可转移的DNA）可转移至受体细胞，并且整合到受体细胞染色体的DNA上。根据农杆菌的这种特点，如果将目的基因插入到Ti质粒的T-DNA上，通过农杆菌的转化作用，就可以使目的基因进入植物细胞，并将其插入到植物细胞中染色体的DNA上，使目的基因的遗传特性得以稳定维持和表达（图1-11）。由于这种方法比较经济和有效，迄今为止，约80%的转基因植物都是通过这种方法获得的。除此之外，还有基因枪法和花粉管通道法等。

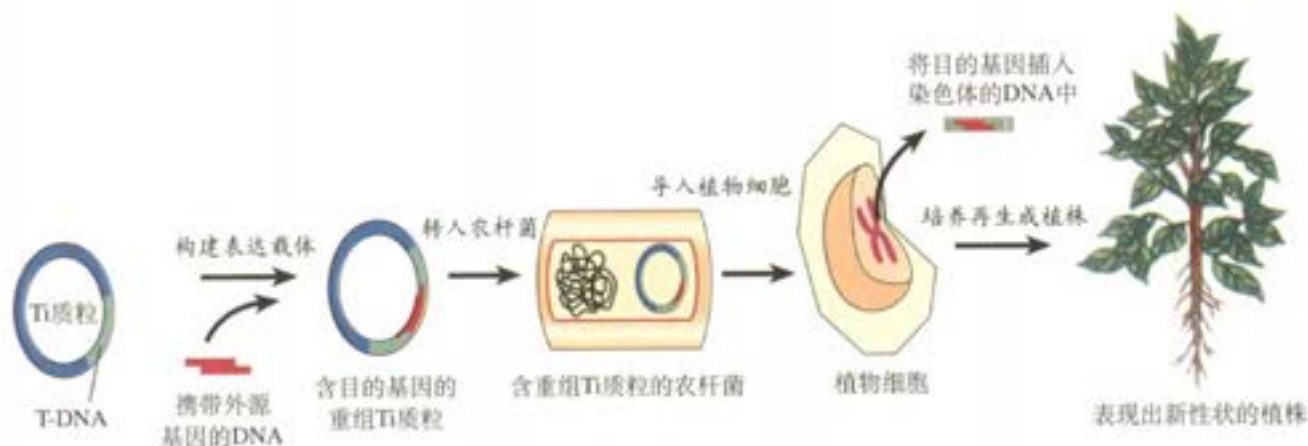


图 1-11 农杆菌转化法示意图

生物技术资料卡

基因枪法 基因枪法（particle gun）又称微弹轰击法，是利用压缩气体产生的动力，将包裹在金属颗粒表面的表达载体DNA打入受体细胞中，使目的基因与其整合并表达的方法。常用的金属颗粒有钨粉粒子和金粉粒子，粒子的直径一般在 $0.6 \sim 4 \mu\text{m}$ 。这是单子叶植物中常用的一种基因转化方法，但是成本较高。



生物技术资料卡

花粉管通道法 这是我国科学家独创的一种方法。我们知道，植物花粉在柱头上萌发后，花粉管要穿过花柱直通胚囊。花粉管通道法就是在植物受粉后，花粉形成的花粉管还未愈合前，剪去柱头；然后，滴加 DNA（含目的基因），使目的基因借助花粉管通道进入受体细胞。我国的转基因抗虫棉就是用此种方法获得的。花粉管通道法是一种十分简便经济的方法。



将目的基因导入动物细胞

迄今为止，显微注射技术是转基因动物中采用最多，也是最为有效的一种将目的基因导入动物细胞的方法。1982 年，世界上第一例体型比普通小鼠约大一倍的转基因“超级小鼠”就是采用显微注射技术获得成功的。基本的操作程序是：首先将含有目的基因的表达载体提纯，并使 DNA 浓度保持在 $1 \sim 3 \mu\text{g/mL}$ ；然后，从雌性动物体内取出卵（卵可以在体内受精，也可以在体外受精），采用显微注射仪进行显微注射（图 1-12）；再将注射了目的基因的受精卵（图 1-13），经胚胎早期培养一段时间后，再移植到雌性动物的输卵管或子宫内，使其发育成为具有新性状的动物。

将目的基因导入微生物细胞

由于原核生物具有一些其他生物没有的特点：繁殖快、多为单细胞、遗传物质相对较少等，因此，早期的基因工程操作都用原核生物作为受体细胞，其中以大肠杆菌应用最为广泛。大肠杆菌细胞最常用的转化方法是：首先用 Ca^{2+} 处理细胞，使细胞处于一种能吸收周围环境中 DNA 分子的生理状态，这种细胞称为感受态细胞。第二步是将重组表达载体 DNA 分子溶于缓冲液中与感受态细胞混合，在一定的温度下促进感受态细胞吸收 DNA 分子，完成转化过程。

目的基因的检测与鉴定

目的基因导入受体细胞后，是否可以稳定维持和表达



图 1-12 显微注射仪

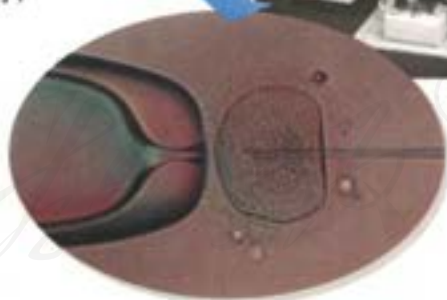


图 1-13 将目的基因注射到动物细胞

其遗传特性，只有通过检测与鉴定才能知道。这是基因工程的第四步工作，也是检查基因工程是否做成功的一步。

首先，要检测转基因生物的 DNA 上是否插入了目的基因，这是目的基因能否在受体细胞中稳定遗传的关键。检测方法是采用 DNA 分子杂交技术，即将转基因生物的基因组 DNA 提取出来，在含有目的基因的 DNA 片段上用放射性同位素等作标记，以此作为探针，使探针与基因组 DNA 杂交，如果显示出杂交带，就表明目的基因已插入染色体 DNA 中（图 1-14）。

其次，还需要检测目的基因是否转录出了 mRNA，这是检测目的基因是否发挥功能作用的第一步。检测方法同样是采用分子杂交技术，与上述方法不同之处是从转基因生物中提取的是 mRNA，同样用标记的目的基因作探针，与 mRNA 杂交，如果显示出杂交带，则表明目的基因转录出了 mRNA。

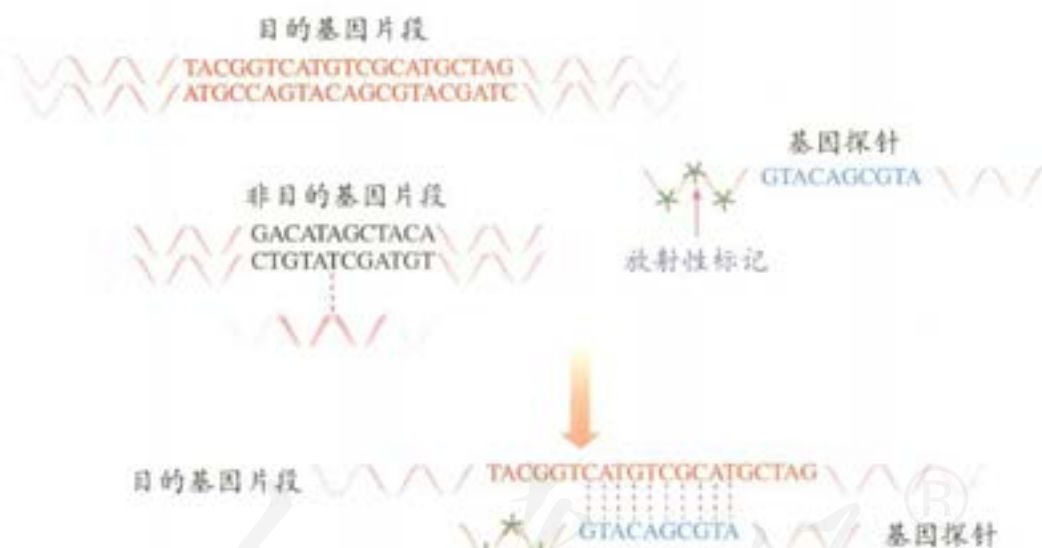


图 1-14 目的基因的检测示意图

最后，检测目的基因是否翻译成蛋白质。检测的方法与上述方法有所不同，是从转基因生物中提取蛋白质，用相应的抗体进行抗原—抗体杂交，若有杂交带出现，表明目的基因已形成蛋白质产品。

除了上述的分子检测外，有时还需要进行个体生物学水平的鉴定。例如，一个抗虫或抗病的目的基因导入植物细胞后，是否赋予了植物抗虫或抗病特性，需要做

抗虫或抗病的接种实验，以确定是否具有抗性以及抗性的程度（图 1-15）。又如，有的基因工程产品需要与天然产品的功能进行活性比较，以确定转基因产品的功能活性是否与天然产品相同。



图 1-15 抗虫棉的接种实验（左为抗虫转基因棉，使虫体发育不正常）



思考与探究

1. 作为基因工程表达载体，只需含有目的基因就可以完成任务吗？为什么？
2. 根据农杆菌可将目的基因导入双子叶植物的机理，你能分析出农杆菌不能将目的基因导入单子叶植物的原因吗？若想将一个抗病基因导入单子叶植物（如小麦），从理论上说，你认为应该怎样做？
3. 利用大肠杆菌可以生产出人的胰岛素，

联系前面有关细胞器功能的知识，结合基因工程操作程序的基本思路，思考一下，若要生产人的糖蛋白，可以用大肠杆菌吗？

4. β -珠蛋白是动物血红蛋白的重要组成部分。当它的成分异常时，动物有可能患某种疾病，如镰刀形细胞贫血症。假如让你用基因工程的方法，使大肠杆菌生产出鼠的 β -珠蛋白，想一想，应如何进行设计？



参观访问

有条件的地方，与大学或研究机构联系，参观基因工程实验室，看科研人员是怎么进行基因工程的研究和开发的。也可尝试让部分学生参与某项转基因实验，实验结束后，以讲座形式介绍给其他同学。



历史不能忘记中国科学家对 PCR 的贡献

PCR 从畅想到实现, 真的就是穆里斯一个人的功劳吗? 其实这里也有中国人的贡献。

1972 年, 穆里斯在加州大学伯克利分校获得有机合成专业博士学位。1979 年, 进入“西特斯”(Cetus) 生物技术公司任职, 负责合成供实验用的寡核苷酸(短链的 DNA 分子)。1983 年 8 月, 他首次在公司里做了有关 PCR 原理的报告, 但大家反应冷淡, 认为这个原理太简单了, 如果可行, 早就有人做了。

1986 年, 公司主管向沃森推荐, 使穆里斯平生第一次受邀在同年 5 月举行的一次“人类分子生物学”专题研讨会上做了 PCR 原理及实验应用的报告, 这形成了先入为主的印象, 即 PCR 是穆里斯一手发明的, 为此, 1993 年穆里斯获得诺贝尔化学奖。然而, 将 PCR 变成真正成熟技术的“临门一脚”, 则是中国科学家钱嘉韵完成的, 是她发现并分离了耐高温的 DNA 聚合酶。

钱嘉韵是我国台湾的科学家, 她是第一个报道分离耐高温 DNA 聚合酶工作的。1973 年, 钱嘉韵就读于美国俄亥俄州辛辛那提大学生物系, 她的导师对黄石公园里热泉中发现的嗜热菌十分好奇, 他让钱嘉韵以该细菌作为研究主题。钱嘉韵不负师望, 从该细菌中成功地分离了耐高温的 DNA 聚合酶, 并于 1976 年在《细菌学杂志》上以第一作者身份发表了论文。这篇论文在科学界被广泛引用。“西特斯”公司的工作人员按照钱嘉韵等人发明的操作步骤, 成功地分离了这种 DNA 聚合酶。由于钱嘉韵等人的工作早于穆里斯, 最近几年, 科学界又提出了耐高温 DNA 聚合酶的专利权问题, 这使 PCR 的专利权也连带地受到了挑战。



1.3 基因工程的应用

基因工程自20世纪70年代兴起后,在短短的30年间,得到了飞速的发展,目前已成为生物科学的核心技术。基因工程在实际应用领域——农牧业、工业、环境、能源和医药卫生等方面,也展示出美好的前景。

植物基因工程硕果累累

植物基因工程在农业中的应用发展迅速。1996—2017年,全世界转基因作物的种植面积增加了一百多倍,从 $1.7 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 发展到 $1.898 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。转基因植物的研究、开发和应用,是农业技术革命的标志。2001年,就世界范围来看,转基因植物种植面积首次突破 $5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。其中,转基因大豆、棉花、油菜、玉米已进入大规模商业化应用阶段,这四种转基因作物种植面积占相关作物种植面积的比例已达到:大豆63%,玉米19%,棉花13%,油菜5%,我国转基因作物的种植面积也迅速增长,位居世界第四(图1-16)。

植物基因工程技术主要用于提高农作物的抗逆能力(如抗除草剂、抗虫、抗病、抗干旱和抗盐碱等),以及改良农作物的品质和利用植物生产药物等方面。

抗虫转基因植物

全世界每年因虫害造成农作物的损失约占总产量的13%,达数千亿美元。对农业害虫的防治,大多是依靠化学农药。大量使用化学农药不仅造成了严重的环境污染,损害了人类健康,而且大大增加了生产成本。因此,从某些生物中分离出具有杀虫活性的基因,将其导入作物中,使其具有抗虫性,已成为防治作物虫害的发展趋势。目前,已问世的转基因抗虫植物主要有水稻(图1-17)、棉、玉米、马铃薯、番茄、大豆、蚕豆、烟草、苹果、核桃、杨、菊花和白花三叶草等。用于杀虫的基因主要是Bt毒蛋白基因、蛋白酶抑制剂基因、淀粉酶抑制剂基因、植物凝集素基因等。例如,我国转基

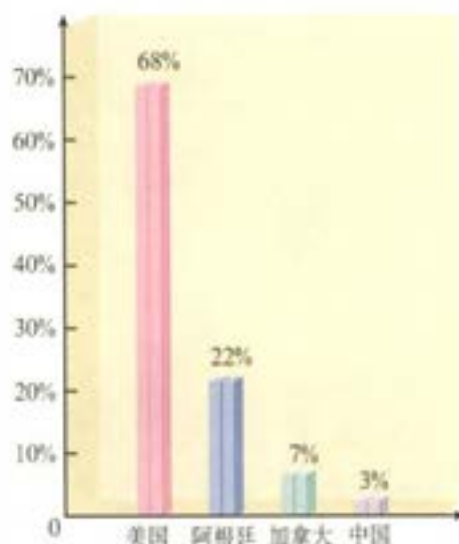


图1-16 2001年转基因作物种植面积最大的四个国家及其所占比例



图1-17 转基因抗虫水稻
转基因抗虫水稻(绿色植株)与对照(黄色枯萎植株)

因抗虫棉就是转入 Bt 毒蛋白基因培育出来的，它对棉铃虫具有较强的抗性。

生物技术资料卡

可用于转基因植物的抗虫基因

Bt 毒蛋白基因是从苏云金芽孢杆菌中分离出的抗虫基因。当 Bt 毒蛋白被某些昆虫幼虫吞食后，在其肠道碱性条件和相关酶的作用下被分解为多肽；该多肽与昆虫肠上皮细胞的特异性受体结合可使细胞膜穿孔，昆虫很快死亡。Bt 毒蛋白只在某些昆虫肠道的碱性环境中才能表现出毒性，而人和牲畜的胃液呈酸性，肠道细胞也无特异性受体。因此，Bt 毒蛋白不会对人畜产生危害。

蛋白酶抑制剂基因广泛存在于植物中，它产生的抑制剂可与害虫消化道中的蛋白酶结合

形成复合物，从而阻断或降低蛋白酶的活性，使昆虫不能正常消化食物中的蛋白质。这种复合物还能刺激昆虫分泌过量的消化酶，引起害虫的厌食反应。

淀粉酶抑制剂基因产生的淀粉酶抑制剂可以抑制昆虫消化道中的淀粉酶活性，使害虫不能消化所摄取的淀粉，从而阻断害虫的能量来源。

植物凝集素基因控制植物合成一种糖蛋白，这种糖蛋白可与昆虫肠道黏膜上的某种物质结合，从而影响害虫对营养物质的吸收和利用。



图 1-18 抗病毒的转基因小麦



图 1-19 抗病毒的转基因甜椒

1997 年，我国政府首次批准商业化种植转基因抗虫棉，这是我国拥有自主知识产权的抗虫棉。到 2015 年，我国已育成转基因抗虫棉新品种 100 多个，减少农药用量 40 万吨，增收节支社会经济效益 450 亿元。

抗病转基因植物

植物像人一样也会生病。引起植物生病的微生物称为病原微生物，主要有病毒、真菌和细菌等。例如，许多栽培作物由于自身缺少抗病毒的基因，因此，用常规育种的方法很难培育出抗病毒的新品种，而基因工程技术，为培育抗病毒植物品种开辟了新的途径。目前，人们已获得抗烟草花叶病毒的转基因烟草和抗病毒的转基因小麦（图 1-18）、甜椒（图 1-19）、番茄等多种作物。

抗病转基因植物所采用的基因，使用最多的是病毒外壳蛋白（coat protein, CP）基因和病毒的复制酶基因；抗真菌转基因植物中可使用的基因有几丁质酶基因和抗毒素合成基因。

抗逆转基因植物

环境条件对农作物的生产会造成很大影响。例如，盐碱、干旱、低温、涝害等不利的环境条件，是造成低产、减产的常见因素。目前，全球的盐碱和干旱地区分别占陆地面积的 1/3，还有许多地区属于高寒地区。这些不利的

环境条件也会对农业生产造成影响。由于盐碱和干旱对农作物的危害与细胞内渗透压调节有关,目前科学家们正在利用一些可以调节细胞渗透压的基因,来提高农作物的抗盐碱和抗干旱的能力,这在烟草等植物中已获得了比较明显的成果。科学家们还研究开发出了一批耐寒作物,使它们在寒冷环境条件下,良好地生长。例如,将鱼的抗冻蛋白基因导入烟草和番茄(图 1-20),使烟草和番茄的耐寒能力均有提高。此外,将抗除草剂基因导入大豆、玉米等作物(图 1-21),喷洒除草剂时,杀死田间杂草而不损伤作物。

利用转基因改良植物的品质

随着人们生活水平的提高,人们对食品的要求不仅仅是吃饱,而且要富于营养。但是,我们吃的许多食品含有的营养成分并不平衡,例如,豆类食品中,含有蛋氨酸比较少,大米、玉米、小麦则含赖氨酸比较少。这些人体必需的氨基酸缺少后对人的健康不利。科学家将必需氨基酸含量多的蛋白质编码基因,导入植物中,或者改变这些氨基酸合成途径中某种关键酶的活性,以提高氨基酸的含量。例如,我国科学家将富含赖氨酸的蛋白质编码基因导入玉米,获得的转基因玉米中赖氨酸的含量比对照提高 30%(图 1-22)。

番茄含有丰富的维生素,但不耐储存。我国科学家将控制番茄果实成熟的基因导入番茄,获得转基因延熟番茄,储存时间可延长 1~2 个月,有的可达 80 多天。目前,我国农业部已批准这种耐储存番茄进行商品化生产。我国科学家还成功地将与植物花青素代谢有关的基因导入花卉植物矮牵牛中,转基因矮牵牛呈现出自然界没有的颜色变异,大大提高了花卉的观赏价值(图 1-23)。



图 1-20 我国科学家在实验田中观察转鱼抗冻蛋白基因的番茄



图 1-21 转基因抗除草剂玉米
(左侧:喷洒除草剂后,杂草全部死亡,转基因玉米生长正常。右侧:未喷洒除草剂,杂草丛生。)



图 1-22 富含赖氨酸的转基因玉米



图 1-23 转基因矮牵牛呈现出原本没有的花色变异
(左侧为对照,中间和右侧为转基因后的变异)



发光树能做路灯吗？

自然界有许多生物可以发光，它们发出的光有磷光和荧光两种。大家最熟悉的是萤火虫，在夏天的夜晚，它们那“腾空类星陨，拂树若花生”的美丽荧光，曾引起人们的许多遐想。科学家研究发现，萤火虫发光是发光器中的荧光素，在荧光酶的催化下发出的间歇光。

荧光素和荧光酶都是由发光基因“指挥”合成的。如果将发光基因导入植物，培育出发光植物是一件十分有趣的事情。目前，科学家已培育出发光的烟草、棉花等。科学家们正计划培育一种发光的夹竹桃，将其种植到高速公路的两旁，白天做行道树，夜晚做路灯照明。到那时，每当夜幕降临，公路两旁的夹竹桃荧光闪闪，树树相连，公路将

变成美丽的荧光世界。也许不久的将来，你可以用各种各样的发光植物来装点你的庭院和家居，那是多么漂亮、有趣！



转入萤火虫荧光酶的转基因烟草苗



图 1-24 转生长激素基因鲤鱼（左）

动物基因工程前景广阔

动物基因工程是 20 世纪 80 年代开始发展起来的，它从诞生那天起，就在动物品种改良、建立生物反应器、器官移植等很多方面显示了广阔的应用前景。

用于提高动物生长速度

动物基因工程技术可以提高动物的生长速率。由于外源生长激素基因的表达可以使转基因动物生长得更快，因此，科学家们将这类基因导入动物体内，以提高动物的生长速率。例如，将外源生长激素基因导入绵羊体内，转基因绵羊的生长速率比一般的绵羊提高 30%，体型增大 50%；我国科学家将外源生长激素基因导入鲤鱼，9 个月后的转基因鲤鱼比对照重 1.5 kg（图 1-24）。

用于改善畜产品的品质

动物基因工程技术的另一个重要作用是改善畜产品的品质。例如,有些人食用牛奶后,对牛奶中的乳糖不能完全消化;也有些人食用牛奶后会出现过敏、腹泻、恶心等不适症状。为了解决这一问题,科学家将肠乳糖酶基因导入奶牛基因组,使获得的转基因牛分泌的乳汁中,乳糖的含量大大减低,而其他营养成分不受影响。

用转基因动物生产药物

最令人兴奋的是利用基因工程技术,还可以使哺乳动物本身变成“批量生产药物的工厂”。科学家将药用蛋白基因与乳腺蛋白基因的启动子等调控组件重组在一起,通过显微注射等方法,导入哺乳动物的受精卵中,然后,将受精卵送入母体内,使其生长发育成转基因动物。转基因动物进入泌乳期后,可以通过分泌的乳汁来生产所需要的药品,因而称为乳腺生物反应器或乳房生物反应器。目前,科学家已在牛和山羊等动物乳腺生物反应器中表达出了抗凝血酶、血清白蛋白、生长激素和 α -抗胰蛋白酶(图1-25)等重要医药产品。

用转基因动物作器官移植的供体

动物基因工程技术有可能使建立移植器官工厂的设想成为现实。目前,人体移植器官短缺是一个世界性难题。为此,人们不得不把目光移向寻求可替代的移植器官。由于猪的内脏构造、大小、血管分布与人的极为相似,而且猪体内隐藏的、可导致人类疾病的病毒要远远少于灵长类动物,是否可以用猪的器官来解决人类器官的来源问题呢?科学家将目光集中在小型猪身上。实现这一目标的最大难题是免疫排斥。目前,科学家正试图利用基因工程方法对猪的器官进行改造,采用的方法是将器官供体基因组导入某种调节因子,以抑制抗原决定基因的表达,或设法除去抗原决定基因,再结合克隆技术,培育出没有免疫排斥反应的转基因克隆猪器官。

基因工程药物异军突起

基因工程制药是制药行业突起的一支新军,不仅具有独特的优势,发展速度也很快。

自20世纪80年代初,第一种基因工程药物——重组人胰岛素投放市场以来,利用转基因的工程菌^①生产的药物已有60多种。这些药物包括细胞因子、抗体、疫苗、



图1-25 转有人 α -抗胰蛋白酶基因的转基因羊



假如某位心脏病病人换上了经过改造的猪的心脏,在生活中他会遭到歧视吗?

^①用基因工程的方法,使外源基因得到高效率表达的菌类细胞株系一般称为“工程菌”。

激素等。这些药物可以用来预防和治疗人类肿瘤、心血管疾病、传染病、糖尿病、类风湿等疾病。我国生产的重组人干扰素、血小板生成素、促红细胞生成素和粒细胞集落刺激因子等基因工程药物均已投放市场（图 1-26）。



图 1-26 我国生产的部分基因工程药物

生物技术资料卡

用 DNA 重组技术生产的人类蛋白药物种类（部分）

蛋白名称	用途
α -抗胰蛋白酶	治疗肺气肿
促肾上腺皮质激素	治疗风湿
B 细胞生长因子	治疗免疫系统功能失调
降钙素	治疗软骨病
红细胞生成素	治疗贫血
生长激素	促进生长
生长激素释放因子	促进生长
胰岛素	治疗糖尿病
干扰素	抗病毒，抗肿瘤
白细胞介素	治疗癌症
血清白蛋白	血浆补充物
肿瘤坏死因子	抗肿瘤

我国生产的基因工程药物还有哪些？请查阅资料或上网查询。

干扰素是动物或人体细胞受到病毒侵染后产生的一种糖蛋白。由于干扰素几乎能抵抗所有病毒引起的感染，如水痘、肝炎、狂犬病等病毒引起的感染，因此，它是一种抗病毒的特效药。此外，干扰素对治疗乳腺癌、骨髓癌、淋巴瘤等癌症和某些白血病也有一定疗效。传统的干扰素生产方法是从人血液中的白细胞内提取的，每 300 L 血液只能提取出 1 mg 干扰素。1980—1982 年，科学家用基因工程方法在大肠杆菌及酵母菌细胞内获得了干扰素，从 1 kg

细菌培养物中可以得到20 ~ 40 mg干扰素。主要用于治疗乙型肝炎的重组人干扰素a-1b是我国第一个国内批准生产的基因工程药物(1993年)。我国基因工程药物开发虽然起步较晚,基础较差,但是,仅仅用了约10年的时间,就使基因工程药物从无到有,不断发展壮大,完成了世界上主要基因工程药物的产业化。



以侯云德院士(右)为首的研究人员,成功地研制出了我国第一个基因工程药物——干扰素。



干扰素的生产车间

基因治疗曙光初照

人体的遗传性疾病是很难用一般药物进行治疗的,基因工程的兴起迎来了基因治疗的曙光。

基因治疗是把正常基因导入病人体内,使该基因的表达产物发挥功能,从而达到治疗疾病的目的,这是治疗遗传病的最有效的手段。1990年9月,美国对一名患有严重复合型免疫缺陷症的4岁女童,实施了基因治疗。复合型免疫缺陷症是一种遗传疾病。女童由于腺苷酸脱氨酶基因缺失,造成体内缺乏腺苷酸脱氨酶;而腺苷酸脱氨酶是人体免疫系统发挥正常功能作用所必需的,因此,女童不能抵抗病原微生物的威胁。1990年9月,这名女童接受了基因治疗,研究人员将腺苷酸脱氨酶基因转入取自患者的淋巴细胞中,使淋巴细胞能够产生腺苷酸脱氨酶,然后,再将这种淋巴细胞转入患者体内。半年后,在血液中检测出了被改造的淋巴细胞,女童体内产生的腺苷酸脱氨酶也越来越多,女童产生抗体的能力显著改善。

从1990年成功转移腺苷酸脱氨酶基因到现在,大部分基因治疗的临床试验,都是先从病人体内获得某种细



针对这一实例,你能提出什么问题吗?

胞,例如T淋巴细胞,进行培养,然后,在体外完成基因转移,再筛选成功转移的细胞扩增培养,最后重新输入患者体内(图1-27,1-28)。上述方法虽然操作复杂,但效果较为可靠,称为体外基因治疗。同时,科学家们又千方百计设计出更加简便的基因治疗方法。例如,1994年美国科学家利用经过修饰的腺病毒作载体,成功地将治疗遗传性囊性纤维化病的正常基因转入患者肺组织中。这种直接向人体组织细

胞中转移基因的治病方法叫做体内基因治疗。值得提出的是,无论哪一种基因治疗,目前都处于初期的临床试验阶段。可以说,在没有完全解释人类基因组的运转机制,充分了解基因调控机制和疾病的分子机理之前,进行基因治疗是十分困难的。另外,还存在着技术方面、伦理道德方面,以及安全性方面的诸多困难。如果这些问题能逐一解决的话,基因治疗将推动21世纪的医学革命。



图 1-27 我国研究人员正在制备用于治疗的基因工程细胞



图 1-28 为病人注射基因工程细胞

生物技术资料卡

用于基因治疗的基因种类

用于基因治疗的基因有三类。第一类是从健康人体上分离得到的功能正常的基因,用以取代病变基因,或依靠其表达产物,来弥补病变基因带来的生理缺陷,如对血友病和地中海贫血病的

治疗。第二类是反义基因,即通过产生的 mRNA 分子,与病变基因产生的 mRNA 进行互补,来阻断非正常蛋白质合成。第三类是编码可以杀死癌变细胞的蛋白酶基因,又叫做自杀基因。



拓展视野

神奇的基因芯片

你听说过“基因芯片”(gene chip)一词吗?基因芯片又叫做 DNA 芯片,寡核苷酸芯片,或 DNA 微阵列。其概念来自计算机芯片,是伴随“人类基因组计划”的研究进展而快速发展起来的一门高新技术。

那么,基因芯片究竟是什么?它的作用又是怎样的呢?通俗地说,基因芯片是通过微加工技术,将数以万计、乃至百万计的特定序列的 DNA 片段(基因探针),有规律地排列固定于 2 cm^2 的硅片、玻片

等支持物上，构成的一个二维 DNA 探针阵列，与计算机的电子芯片十分相似，所以被称为基因芯片。基因芯片主要用于基因检测工作。科学家让芯片上成千上万的探针分子，与被检测的带有标记的基因样品，按碱基配对原理进行杂交。然后，通过荧光检测系统对芯片进行扫描，再利用计算机系统，对每一探针上的荧光信号进行比较和检测，从而迅速得出所需要的信息。

基因芯片的用途广泛，可以用于基因测序，寻找有用的目的基因，或对基因的序列进行分析。例如，科学家用基因芯片分析了黑猩猩与人某段基因序列的差异，结果发现二者核酸序列一致性为 83.5% ~ 98.2%，揭示了二者在进化上的高度相关性。

科学家是根据从正常人的基因组中分离出的 DNA 与 DNA 芯片杂交，可以得出标准图谱，以及从病人的基因组中分离出 DNA 与 DNA 芯片杂交，可以得出病变图谱，再通过比较上述两种图谱，来对人类的许多疾病（如感染性疾病、遗传性疾病、恶性肿瘤等）进行诊断的。基因芯片在临床诊断方面表现出的独特优势是：它不仅能在早期诊断中发挥作用；与传统检测方法相比，它可以在一张芯片上，同时对多个病人进行多种疾病的检测；利用基因芯片，还可以从分子水平上了解疾病。

基因芯片的这些特点，能够使医务人员在短时间内掌握大量的疾病诊断信息，找到正确的治疗措施。除此之外，基因芯片在新药的筛选、临床用药的指导等方面，也有重要作用。

总之，基因芯片诊断技术以其快速、高效、自动化等特点，将成为一项现代化诊断新技术，并成为学术界和企业界所瞩目的研究和开发的热点。



基因芯片

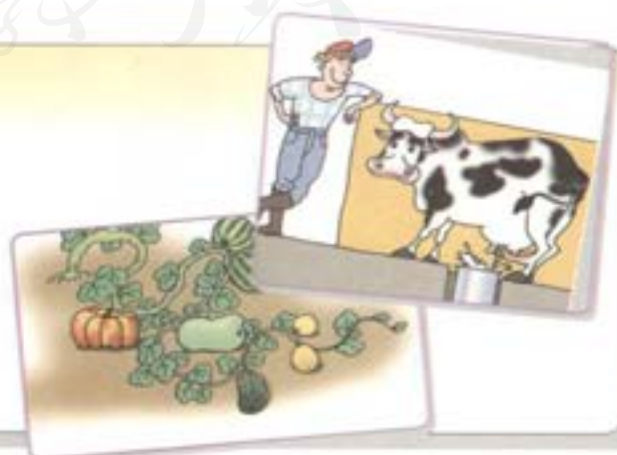


用于检测 DNA 芯片的荧光检测仪

思考与探究

1. 根据所学内容，试概括写出基因工程解决了哪些生活、生产中难以解决的问题。

2. 右面是两幅同学画的基因工程卡通图。你能像这位同学一样，展开你想象的翅膀，用图画、文字或用音乐创造等，来畅想基因工程的未来吗？



1.4 蛋白质工程的崛起

你知道国际人类蛋白质组计划吗？
它与蛋白质工程有什么关系？
我国科学家承担了什么任务？

对天然蛋白质进行改造，你认为应该直接对蛋白质分子进行操作，还是通过对基因的操作来实现？

1983年，美国某基因公司的一名科学家提出了蛋白质工程这一名词。随着分子生物学、晶体学以及计算机技术的迅猛发展，蛋白质工程已取得了很大的进展。目前，它已成为研究蛋白质结构和功能的重要手段，并将广泛应用于制药和其他工业生产中。

蛋白质工程崛起的缘由

为什么要进行蛋白质工程的研究呢？我们知道，将一种生物的基因转移到另一种生物体内，后者可以产生它本不能产生的蛋白质，进而表现出新的性状，这就是基因工程的实质。基因工程在原则上只能生产自然界已存在的蛋白质，这些天然蛋白质是生物在长期进化过程中形成的，它们的结构和功能符合特定物种生存的需要，却不一定完全符合人类生产和生活的需要。例如，干扰素是动物体内的一种蛋白质，可以用于治疗病毒的感染和癌症，但在体外保存相当困难。如果将其分子上的一个半胱氨酸变成丝氨酸，那么在 -70°C 的条件下，可以保存半年。又如，前面我们提到玉米中赖氨酸的含量比较低，原因是赖氨酸合成过程中的两种关键酶——天冬氨酸激酶和二氢吡啶二羧酸合成酶的活性，受细胞内赖氨酸浓度的影响较大，当赖氨酸浓度达到一定量时，就会抑制这两种酶的活性，所以赖氨酸含量很难提高。如果我们将天冬氨酸激酶的第352位的苏氨酸变成异亮氨酸，将二氢吡啶二羧酸合成酶中104位的天冬酰胺变成异亮氨酸，就可以使玉米叶片和种子中的游离赖氨酸分别提高5倍和2倍。还有许多工业用酶也是在改变天然酶的特性后，才使之适应生产和使用需要的。

蛋白质工程的基本原理

蛋白质工程是怎样进行的呢？蛋白质工程的目标是根据人们对蛋白质功能的特定需求，对蛋白质的结构进行分子设计。由于基因决定蛋白质，因此，要对蛋白质的结构进行设计改造，最终还必须通过基因来完成。

我们知道，天然蛋白质合成的过程是按照中心法则进行的：基因→表达（转录和翻译）→形成氨基酸序列的多肽链→形成具有高级结构的蛋白质→行使生物功能；而蛋白质工程却与之相反，它的基本途径是：从预

期的蛋白质功能出发→设计预期的蛋白质结构→推测应有的氨基酸序列→找到相对应的脱氧核苷酸序列（基因）（图 1-29）。

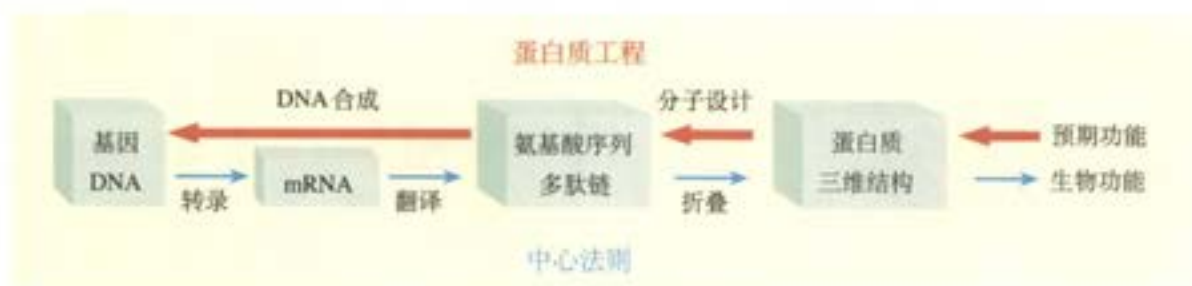


图 1-29 蛋白质工程流程图



讨论

某多肽链的一段氨基酸序列是：……
—丙氨酸—色氨酸—赖氨酸—甲硫氨酸—苯丙氨酸—……

讨论：

1. 怎样得出决定这一段肽链的脱氧核

苷酸序列？请把相应的碱基序列写出来。

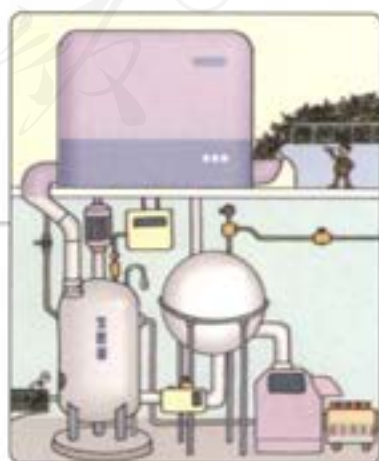
2. 确定目的基因的碱基序列后，怎样才能合成或改造目的基因（DNA）？

通过以上分析和讨论可以看出，蛋白质工程是指以蛋白质分子的结构规律及其与生物功能的关系为基础，通过基因修饰或基因合成，对现有蛋白质进行改造，或制造一种新的蛋白质，以满足人类的生产和生活的需求。也就是说，蛋白质工程是在基因工程的基础上，延伸出来的第二代基因工程，是包含多学科的综合科技工程领域。



异想天开

能不能根据人类需要的蛋白质的结构，设计相应的基因，导入适合的细菌中，让细菌生产人类所需要的蛋白质食品呢？



粮食的工厂化生产示意图



图 1-30 血红蛋白的结构
(α_1 、 α_2 、 β_1 和 β_2 表示血红蛋白的四个亚基。)

蛋白质工程的进展和前景

蛋白质工程取得的进展向人们展示出诱人的前景。例如，科学家通过对胰岛素的改造，已使其成为速效型药品。如今，生物和材料科学家正积极探索将蛋白质工程应用于微电子方面。用蛋白质工程方法制成的电子元件，具有体积小、耗电少和效率高的特点，因此有极为广阔的发展前景。

蛋白质工程是一项难度很大的工程，目前成功的例子不多，主要是因为蛋白质发挥功能必须依赖于正确的高级结构，这种高级结构十分复杂（图 1-30），而目前科学家对大多数蛋白质的高级结构的了解还很不够，要设计出更加符合人类需要的蛋白质还需经过艰辛的探索。我们相信，随着科学技术的深入发展，蛋白质工程将会给人类带来更多的福音。



思考与探究

1. 蛋白质工程是应怎样的社会需求而崛起的？这说明社会需要与科技发展之间有什么关系？
2. 蛋白质工程操作程序的基本思路与基因

工程有什么不同？

3. 你知道酶工程吗？绝大多数酶都是蛋白质，酶工程与蛋白质工程有什么区别？有兴趣的话，请搜集这方面的资料。



进展追踪

通过报纸、杂志、互联网或其他媒体搜集资料，了解基因工程的新进展，就自己感兴趣的领域，自定选题，写一篇专题综述报告。

参考选题：1. 我国的转基因农作物；2. 我国的转基因动物；3. 转基因食品在我国；4. 基因治疗的困难和前景；5. 基因芯片与疾病诊断。

专题小结

基因工程是在生物化学、分子生物学和微生物学等学科的理论与技术的基础上,发展起来的一门科学技术。它的应用领域十分广泛,既可以作为研究许多基础理论的一种手段,也可以利用此项技术创造出更符合人类需要的产品,解决常规方法不能解决的许多问题。

基因工程是一种DNA操作技术,需要借助限制酶、连接酶以及载体等工具才能进行。基因工程的基本操作程序是:首先通过不同的方法得到人们所需要的目的基因,然后将目的基因与基因表达所需要的多种元件组装起来构成一个表达载体,再将表达载体导入受体细胞,并使目的基因整合到受体细胞的DNA上,从而培育出转基因生物。

基因工程在植物、动物、微生物等生物上都得到了成功的运用,创造出了许多优良品种或产品。

基因工程是一种新鲜事物,也是一把“双刃剑”,人们对此自然会有不同看法。只要科学地、合理地加以利用,相信基因工程一定会使我们的生活更美好。

基因工程在原则上只能生产自然界已存在的蛋白质,这些蛋白质不一定完全符合人类生产和生活的需要。因此,在基因工程基础上产生了蛋白质工程,通过基因修饰或基因合成,对现有蛋白质进行改造,或制造新的蛋白质,以满足人类的生产和生活的需求。



书海导航

1. 基因工程。楼士林等,北京:科学出版社,2002年7月。
2. 生命的礼赞。敖光明主编,北京:科学普及出版社,2002年1月。
3. 医用基因工程。杨吉成等,北京:化学工业出版社,2003年。



网站链接



人教版®

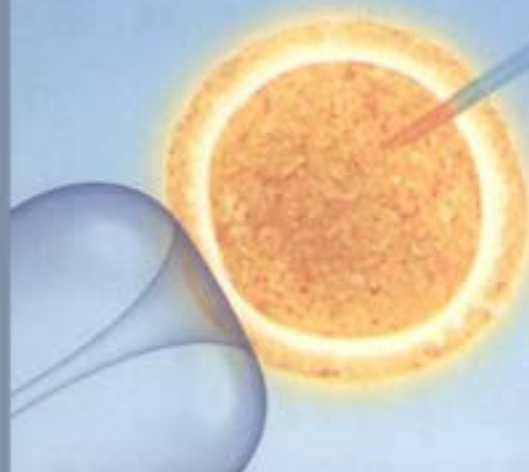
专题 2 细胞工程

你知道用一根嫩枝条就可以培育出 10 万株以上的幼苗，用高产奶牛的耳细胞做供体就可以生产出众多的高产奶牛吗？这些都需要通过细胞工程来实现。细胞工程应用的领域十分广泛，例如，应用动物细胞培养技术，可以大量地生产各种抗病疫苗；应用杂交瘤技术，能为人类提供诊治肿瘤的单克隆抗体；应用动物克隆和植物微繁技术，可以快速繁殖动植物的优良品种；应用植物体细胞杂交技术，能创造出靠常规杂交育种无法得到的作物新品种……近年来，细胞工程领域成果迭出，方兴未艾。



克隆羊多利

细胞工程是指应用细胞生物学和分子生物学的原理和方法，通过细胞水平或细胞器水平上的操作，按照人的意愿来改变细胞内的遗传物质或获得细胞产品的一门综合科学技术。根据操作对象的不同，可分为植物细胞工程和动物细胞工程两大领域。



细胞核移植

植物组织培养





组织培养出的烟草



我们知道，柳树的嫩枝插入土中就能成活，并能逐渐长成一株枝繁叶茂的大树。那么，植物的一片叶、一段根，甚至单独一个细胞，是否也能长成一个完整的植株呢？围绕这一问题，世界各国的科学家早在一个世纪前就开始了漫长的探索历程。

1902年，德国科学家哈伯兰特（G. Haberlandt, 1854—1945）就提出了细胞全能性的理论。1937年，美国科学家怀特（P. R. White）用烟草茎段形成层作材料，在试管中培养出了烟草植株。1958年，美国科学家斯图尔德（F. C. Steward）等利用胡萝卜根的组织培养再次证明了植物细胞的全能性。1965年，沃索（V. Vasil）等在一定成分的培养基上，由烟草的单细胞得到再生植株。1970年，斯图尔德用悬浮培养的单个细胞也培养出了可育的新植株，进一步证实了细胞的全能性。20世纪70年代，以植物细胞克隆为代表的细胞工程诞生。随后，植物的花药培养、原生质体培养，以及植物体细胞杂交技术得以确立和发展，标志着植物细胞工程技术进入了高速发展的阶段。

在植物学家辛勤探索的同时，各国的动物学家在动物细胞工程领域也取得了长足的进展。1907年，美国生物学家哈里森（R. G. Harrison, 1870—1959）用一滴淋巴液成功地培养了蝌蚪的神经元，证明了动物组织体外培养的可行性，并首创了动物体外组织培养法。我国生物学家童第周（1902—1979），在20世纪60年代初就开展了鱼类的细胞核移植工作，并取得了一些具有国际影响的成果，同时他还通过把黑斑蛙红细胞的核转移到同种生物的去核卵中，得到了正常发育的蝌蚪。1975年，科学家用产生抗体的单个细胞与肿瘤细胞杂交，创立了单克隆抗体技术。1996年7月，世界上第一只克隆羊多利（Dolly）在英国诞生。其后仅两年时间，克隆牛、克隆鼠也相继问世。2001年11月3日，我国首例体细胞克隆牛康康在山东莱阳农学院动物胚胎工程中心实验场降生。2017年年底，我国科学家攻克了体细胞克隆灵长类动物的世界难题，成功克隆了“中中”和“华华”。这一切表明，动物细胞工程技术，已经成为生物科学领域中一颗十分耀眼的明珠。

2.1 植物细胞工程

2.1.1 植物细胞工程的基本技术

无论是绚丽多姿的花草，还是碧绿参天的大树，大多都是通过种子播种或枝条扦插实现繁殖的。其实在一定的条件下，利用它们的一片叶子、一瓣花瓣，甚至一粒花粉，同样可以得到大量的幼小植株。图 2-1 就是科学家利用菊花的花瓣培养出的菊花。那么，植物的花瓣是怎样长成一株完整植株的呢？

植物的花瓣属于高度分化的组织，利用它来培育出新的植株，首先要通过细胞的脱分化过程，培养出愈伤组织，然后再从愈伤组织分化形成小植株。这里所说的细胞脱分化（dedifferentiation）就是让已经分化的细胞，经过诱导后，失去其特有的结构和功能而转变成未分化细胞的过程。在植物中，一些分化的细胞，经过激素的诱导，可以脱分化为具有分生能力的薄壁细胞，进而形成植物的愈伤组织（图 2-2）。愈伤组织在一定的培养条件下，又可以再分化出幼根和芽，形成完整的小植株（图 2-3）。

为什么植物的一瓣花瓣就可以培育出完整的植株呢？我们知道，具有某种生物全部遗传信息的任何一个细胞，都具有发育成完整生物体的潜能，也就是说，每个生物细

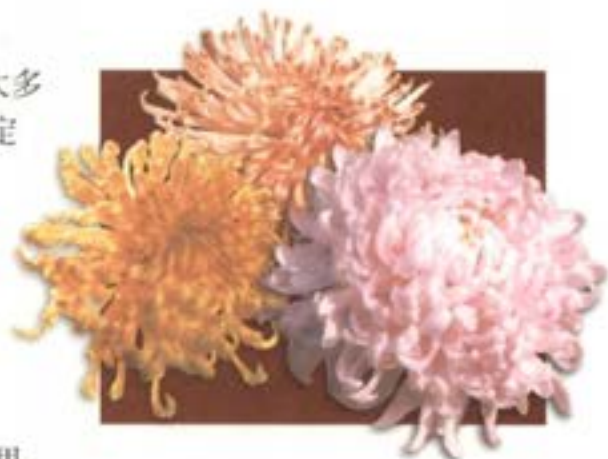


图 2-1 微型繁殖的菊花



图 2-2 某植物的愈伤组织

图 2-3 从愈伤组织分化形成小植株

胞都具有全能性的特点。因此,在理论上,植物的任何一个细胞都具有发育成完整植株的潜力。但是,在个体生长发育过程中,细胞并不会表现出全能性,而是分化成各种组织和器官。这是因为在特定的时间和空间条件下,细胞中的基因会有选择性地表达出各种蛋白质,从而构成生物体的不同组织和器官。

植物组织培养技术

要把某种植物的一块组织通过培养得到一株完整植株,应该如何操作呢?这就涉及植物细胞工程中最基本的技术之一——植物组织培养。下面我们就通过“胡萝卜的组织培养”实验来了解这一技术。



实验

胡萝卜的组织培养

实验原理

植物体的根、茎、叶细胞一般都具有全能性,在一定的营养和激素等条件下,可以脱分化形成愈伤组织。将愈伤组织转接到含有不同激素成分的培养基上,就可以诱导其再分化生成胚状体或丛芽,进而发育成完整的小植株。植物组织培养的全过程,证明了分化的植物细胞,仍具有形成完整植株所需要的全部基因。

实验目的

1. 尝试进行植物的组织培养。
2. 了解植物组织培养的基本原理。

材料用具

胡萝卜根(或烟草叶片、小麦花药、菊花花瓣等)、经过灭菌的培养基、体积分数为70%的酒精、体积分数为20%的次氯酸钠溶液、无菌水、50 mL 锥形瓶或大试管、烧杯、酒精灯、恒温箱、超净工作台(或接种箱)、高压灭菌锅(或普通高压锅)、滤纸、标签、消毒用酒精棉球、培养皿(或瓷砖)、解剖刀、镊子等。

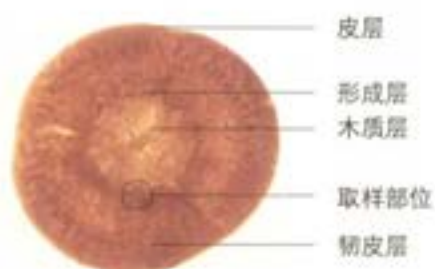
方法步骤



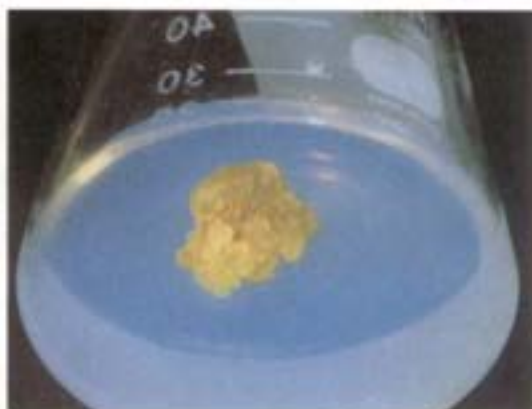
1. 将胡萝卜根用自来水充分洗净,削去外皮,并切成段(约10 cm)。用酒精棉球擦手消毒。



2. 在超净工作台(或接种箱)上将胡萝卜段用酒精溶液消毒30 s后,立即用无菌水清洗2~3次,再用次氯酸钠溶液处理30 min后,立即用无菌水清洗2~3次。



3. 用无菌的滤纸吸去胡萝卜段表面的水分。然后，在消毒瓷砖上，用无菌的解剖刀将胡萝卜段切成1 cm厚的横切片，再选取有形成层的部位，切取1 cm³左右的小块。



5. 将接种后的胡萝卜组织块，放在23 ~ 26 ℃恒温避光条件下培养。4 d后，检查培养材料的污染情况；14 d后，观察愈伤组织的生长状况。然后，在恒温箱中继续避光培养。在培养过程中，注意定期观察和记录愈伤组织的生长情况。



4. 将胡萝卜组织块接种到培养基上，用锡箔纸封盖瓶口，并用橡皮筋扎紧。然后，在培养瓶上贴上标签，写明材料名称、接种日期和小组编号。



6. 培养一段时间后，将生长良好的愈伤组织转接到分化培养基上，培养一段时间后，胡萝卜的愈伤组织就可以诱导出试管苗。然后将试管苗移栽到大田，培养成正常植株。

讨论

1. 在组织培养实验中，为什么要强调所用器械的灭菌和实验人员的无菌操作？

2. 在本实验中，切取胡萝卜块时强调要切取含有形成层部分，原因是这部分容易诱导形成愈伤组织。请思考一下，

胡萝卜的其他部分（如茎、叶、花），是否也能培养成小植株，你能用实验的方法进行验证吗？

3. 请根据上面的实验过程，概括出植物组织培养技术的流程简图，并与其他同学交流。



小知识

培养基的组成

固体培养基大多数都是由无机营养成分、有机营养成分、激素、琼脂四部分组成。



图 2-4 番茄—马铃薯（理想图）

通过上面的实验，我们可以总结出：植物组织培养（plant tissue culture）就是在无菌和人工控制条件下，将离体的植物器官、组织、细胞，培养在人工配制的培养基上，给予适宜的培养条件，诱导其产生愈伤组织、丛芽，最终形成完整的植株。

植物体细胞杂交技术

在 20 世纪 60 年代，一些科学家就尝试将番茄和马铃薯杂交，试图培育出一种地上长番茄、地下结马铃薯的“超级作物”（图 2-4）。但是，不同的两种生物之间，存在着天然的生殖隔离，用传统的有性杂交方法不可能得到二者的杂种后代。经过长期的实验，科学家们采用体细胞杂交的方法，终于得到了“番茄—马铃薯”杂种植株。那么，科学家是怎样得到杂种植株的呢？

我们知道，植物细胞外面有一层细胞壁，这层细胞壁阻碍着细胞间的杂交。因此，在进行体细胞杂交之前，必须先利用纤维素酶和果胶酶去除这层细胞壁，获得具有活力的原生质体（图 2-5）。杂交过程中的另一个关键环节，是原生质体间的融合。进行原生质体间的融合，必须要借助一定的技术手段进行人工诱导。人工诱导的方法基本可以分为两大类——物理法和化学法。物理法包括离心、振动、电激（图 2-6）等；化学法一般是用聚乙二醇（PEG）作为诱导剂来诱导细胞融合。

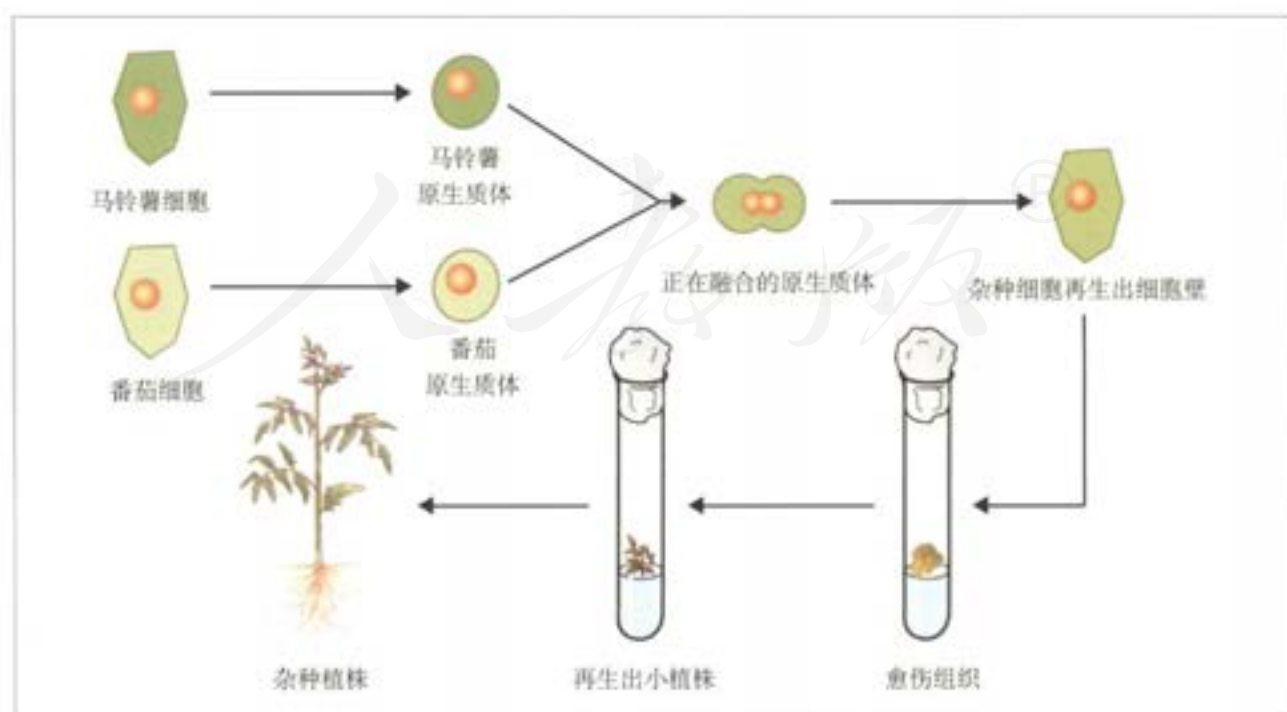


图 2-5 植物体细胞杂交技术流程图

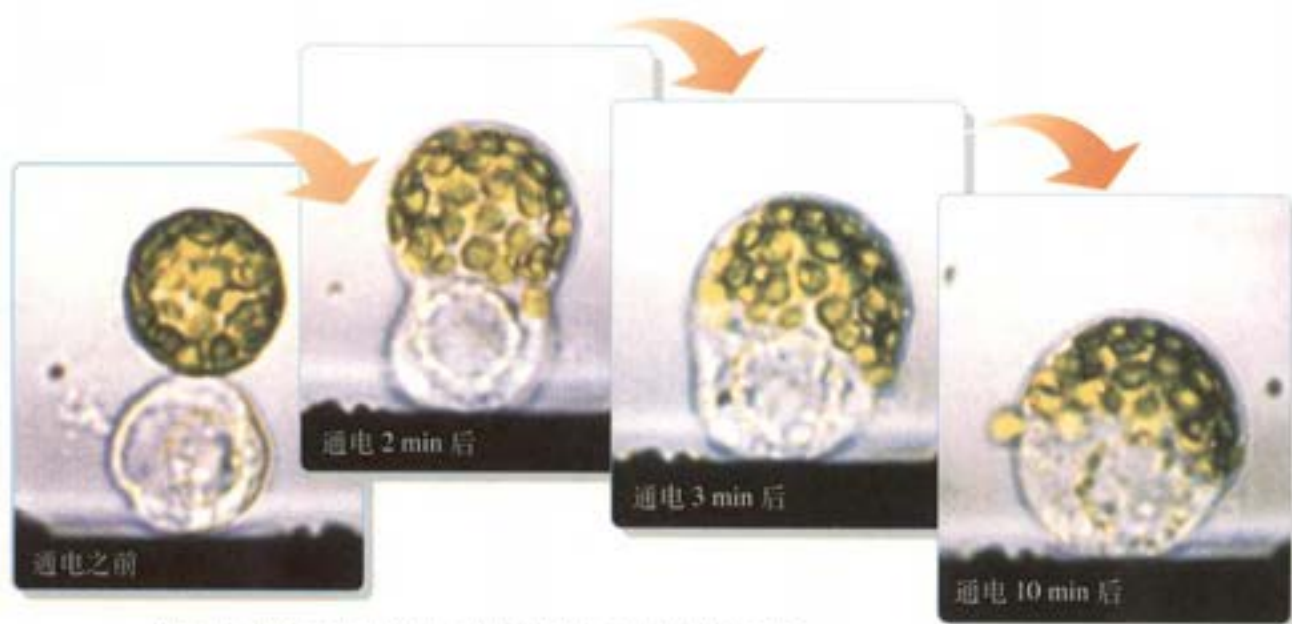


图 2-6 利用电激法将野生马铃薯与栽培马铃薯进行细胞融合

通过上面的介绍，我们可以总结出：**植物体细胞杂交 (plant somatic hybridization)** 就是将不同种的植物体细胞，在一定条件下融合成杂种细胞，并把杂种细胞培育成新的植物体的技术。

虽然科学家们历尽艰辛，终于实现了两个物种间的杂交，可惜这株同时具有两个物种遗传物质的超级植物，并没有如科学家所想象的那样，地上长番茄、地下结马铃薯。尽管如此，这项研究还是在克服不同生物远缘杂交的障碍上，取得了巨大的突破。在此基础上，科学家们利用植物体细胞杂交技术，又相继培育出了烟草—海岛烟草、胡萝卜—羊角芹、白菜—甘蓝 (图 2-7) 等种间或属间杂种，在生产上有较高的应用价值。例如，“白菜—甘蓝”同普通白菜相比，具有生长期短、耐热性强和易于贮藏等优点。

► 异想天开

要是把我老牛的细胞与植物细胞杂交，得到绿色的小奶牛，那岂不是只要晒晒太阳就可以挤出牛奶啦！



图 2-7 白菜与甘蓝体细胞杂交育成白菜—甘蓝



思考与探究

1. 为什么“番茄—马铃薯”超级杂种植株没有如科学家所想象的那样，地上长番茄、地下结马铃薯？

2. 自然界中有一种含有叶绿体的原生动物——眼虫，这说明植物的细胞器同样可以在某些动物细胞中存活。请探讨：动物细胞与植物细胞之间可以实现杂交吗？如果理论上可行，请尝试设计出具体的实验方案。



2.1.2 植物细胞工程的实际应用

随着生物科技的进步，生活中处处可以发现生物技术的踪影。植物细胞工程作为一门新兴的生物技术，已经普遍应用于社会生产的方方面面。

植物繁殖的新途径

微型繁殖

植物组织培养技术不仅可以保持优良品种的遗传特性，还可以高效快速地实现种苗的大量繁殖，因此人们形象地把用于快速繁殖优良品种的植物组织培养技术，叫做植物的微型繁殖技术，也叫快速繁殖技术（图 2-8）。

目前，一些优良的观赏植物、经济林木、无性繁殖作物等都已经实现了利用快速繁殖技术来提供苗木。兰花、生菜、杨树以及无子西瓜的试管苗，都已形成一定规模的产业化生产（图 2-9、2-10）。早在 20 世纪 60 年代，荷兰的科学家就成功地实现了利用组织培养技术来培育兰花。目前，荷兰的兰花生产已经发展成为举世闻名的兰花工业，每年为荷兰创造了巨额的外汇收入。



图 2-8 技术人员正在进行快速繁殖操作



图 2-9 植物组织培养车间



讨论

人们利用植物的微型繁殖技术来进行工厂化育苗生产，这是利用了该项技术的哪些特点？

作物脱毒

马铃薯和草莓都是无性繁殖的作物，它们感染的病毒很容易传播给后代。病毒在作物体内逐年积累，就会导致

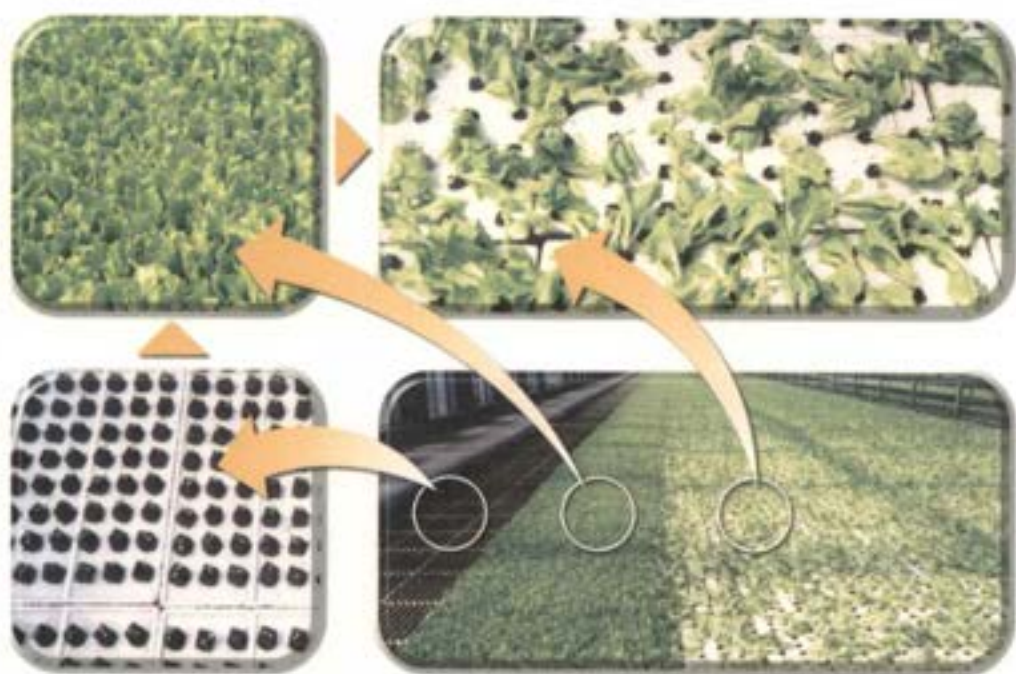


图 2-10 生菜的产业化育苗

作物产量降低，品质变差。早在 20 世纪 50 年代，科学家们就发现植物分生区附近（如茎尖）的病毒极少，甚至无病毒。因此，切取一定大小的茎尖进行组织培养，再生的植株就有可能不带病毒，从而获得脱毒苗。用脱毒苗进行繁殖，种植的作物就不会或极少感染病毒。

目前采用茎尖组织培养技术来脱除病毒，在马铃薯、草莓（图 2-11）、甘蔗、菠萝和香蕉等主要经济作物上已获得成功。人们用组织培养技术脱毒培育出的马铃薯，要比未经脱毒的增产约 50% 以上。

神奇的人工种子

农业、林业生产离不开种子，但不少树木需要生长数年后才能结出种子；一些作物优良杂种的后代也会因发生性状分离而丧失其优良特性。另外，常规种子的生产还会受到季节、气候和地域的限制，并且需要占用大量的土地来实现制种。所以人们就产生了这样的想法，是否可以找出一一种天然种子的替代品，来克服这些缺陷呢？

科学家们经过大量的研究，终于在 20 世纪 80 年代，利用植物的组织培养技术制造出了神奇的人工种子。所谓人工种子，就是以植物组织培养得到的胚状体、不定芽、顶芽和腋芽等为材料，经过人工薄膜包装得到的种子（图 2-12）。人工种子在适宜条件下同样能够萌发长成幼苗。



图 2-11 脱毒草莓（左）与没有脱毒的草莓（右）

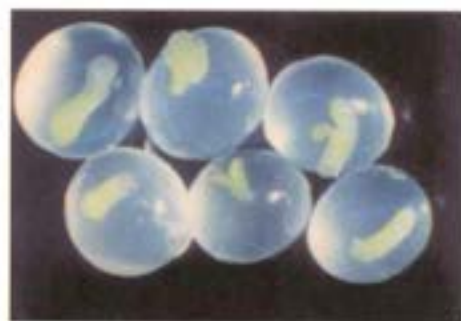


图 2-12 人工种子



小知识

胚状体

胚状体是指在组织培养过程中，在植物组织块或愈伤组织上产生的一种结构，它与正常受精卵发育形成的胚有类似的结构和发育过程。其不同的发育阶段，也可以用正常胚发育中各个时期的术语来描述，如原胚、球形胚、心形胚、鱼雷形胚等。



图 2-13 中花 11 号水稻



小知识

体细胞诱变育种

在作物育种中，可以对植物的愈伤组织进行化学或物理的诱变处理，促使其发生突变，再通过诱导分化形成植株。从这些植株中筛选出高抗、高产、优质的突变体，就可以培育成新品种。

化学诱变一般是利用一些化学诱变剂进行处理。常见的有甲基磺酸乙酯 (EMS) 和叠氮化钠 (SA) 等。物理诱变一般采用电离辐射处理。电离辐射主要包括 γ 射线、 β 射线、中子等。



讨论

人工种子之所以神奇，是由于它具有天然种子不可比拟的特点，想一想，它们具有哪些优点？

在人工种子中，人工种皮是保证包裹在其中的胚状体顺利生长成小植株的关键部分。请探讨：人工种皮中应该具有的有效成分是什么？为了促进胚状体的生长发育，还可以向人工种皮中加入哪些物质？

我国的科学工作者已经成功地把芹菜、花椰菜、桉树和水稻的胚状体制备成了人工种子，并得到了较高的发芽率。

作物新品种的培育

单倍体育种

常规选育出一个可以稳定遗传的农作物优良品种，一般要经过 5 ~ 6 年的连续筛选。而单倍体育种则是通过花药培养获得单倍体植株，染色体加倍后当年便可得到稳定遗传的优良品种，这样就极大地缩短了育种的年限，节约了大量的人力物力。单倍体育种已成为作物育种的一条新途径。

目前全世界已经有 40 多种植物获得了单倍体植株。我国在水稻、小麦、烟草、柏、橡胶和辣椒等植物的单倍体育种上，处于世界领先地位。在单倍体育种领域，我国科学家作出了突出贡献，早在 1974 年就成功地培育出世界上第一个作物新品种——单育 1 号烟草品种。随后又成功地培育出中花 8 号、11 号水稻 (图 2-13) 和京花 1 号小麦等作物新品种。

突变体的利用

在植物的组织培养过程中，由于培养细胞一直处于不断的分生状态，因此容易受到培养条件和外界压力 (如射线、化学物质等) 的影响而产生突变。从这些产生突变的个体中可以筛选出对人们有用的突变体，进而培育成新品种。

20 世纪 70 年代以来，世界各国的科学家用这种方法已经筛选到抗病、抗盐、含高蛋白，以及高产的突变体，有些品种已经用于生产，如抗花叶病毒的甘蔗、抗盐碱的野生烟草、抗除草剂的白三叶草等。

细胞产物的工厂化生产

组织培养技术除了在农业上的应用外，还广泛应用于另一个重要的领域，即细胞产物的工厂化生产。这些细胞产物包括蛋白质、脂肪、糖类、药物、香料、生物碱等。

人参为我国名贵药材，现今因野生资源缺少，多用人工栽培，但人工栽培生长缓慢，6年才能生成10 g左右（干重）人参根。我国科学家早在1963年就成功地培育了人参的组织。近年来又实现了利用组织培养技术来大量生产人参皂甙干粉。用组织培养技术生产的人参，生长速度比栽培人参约快100倍以上，其药用成分和药理活性与栽培人参相似，甚至更加优良（图2-14）。这项技术目前已经投入规模化生产。

三七、紫草和银杏的细胞产物也都已经实现了工厂化生产。目前世界各国的科学家正在深入研究，是否可以通过组织培养技术来大量生产抗癌物质——紫杉醇。



图2-14 人参皂甙的工厂化生产使产量大大增加



资料分析

红豆杉，又名紫杉。1971年，美国化学家从红豆杉树皮中分离出高抗癌活性的紫杉醇，发现紫杉醇具有独特的抗肿瘤作用。据估计，世界每年紫杉醇的需求量为4 000 kg左右，但全世界紫杉醇的产量仅约250 kg，供求关系严重失衡。

据《人民日报》2001年10月17日第5版报道，2000年国际市场上优质紫杉醇的售价已高达每千克18万美元。

1994—1996年，在红豆杉分布最多、最集中的云南，红豆杉遭受了第一轮浩劫。1995年春天的一段时间内，每天清晨，在通往云南省志奔山自然保护区的乡间公路上，都有数十辆拖拉机组成的车队，浩浩荡荡向大山进发。盗伐者们的目标正是国家重点保护珍稀树种——“红豆杉”。大大小小的山沟里，躺满了被剥光树皮的裸树，溪河里浸出鲜血般的红色树汁……

2002年7月，当地农民花了4天时间，将生长了数千年之久、直径达2.6 m的“红豆杉王”剥了皮，只因为它的树皮能获利。



被剥了树皮的红豆杉

讨论

高效抗癌的药物紫杉醇，虽然能造福人类，但却为濒危的红豆杉带来一场灭顶之灾。以“我们能否利用植物组织培养技术大量生产紫杉醇，从而拯救红豆杉”为题，与同学们展开讨论，说说植物组织培养技术在节约资源、保护环境方面的重要意义。



实践活动

有条件的学校，可以组织学生参观植物优良种苗的工厂化生产车间，了解植物组织培养技术在生产实践中的应用情况，并写出调查报告。



思考与探究

1. 通过查阅资料，你能列举出植物组织培养技术在我们生活中的另外一些应用吗？
2. 请查阅植物人工种子制备技术的详细过

程，并设计出制备技术的主要流程图。

3. 请查阅相关文献，设计出一种通过植物花药组织培养生成正常植株的实验流程。



拓展视野

植物生长调节剂在组织培养中的神奇作用

促进细胞分裂的
植物生长调节剂



促进芽萌发的植
物生长调节剂



促进生根的植
物生长调节剂



植物生长调节剂在组织培养中的作用

植物生长调节剂在组织培养中具有极其重要的作用，是人工调控组织培养的“魔术棒”。根据其功能特点，培养基中常用的植物生长调节剂一般可以分为生长素类、细胞分裂素类和赤霉素类。此外，脱落酸(ABA)和多效唑(PP₃₃₃)也可以用于植物的组织培养。

生长素类 在组织培养中，生长素用于诱导细胞的分裂和根的分化。常用的生长素有 IAA(吲哚乙酸)、IBA(吲哚-3-丁酸)、NAA(萘乙酸)和 2,4-D(2,4-二氯苯氧乙酸)。其中 IBA 和 NAA 广泛用于诱导分化生长物的生根，并能与细胞分裂素互相作用而促进茎的增殖。2,4-D 常用于植物愈伤组织的诱导和生长，但它趋向于抑制植物形态的发生，所以在分化培养基中很少利用。

细胞分裂素类 在培养基中细胞分裂素的主要作用是促进组织细胞的分裂或从愈伤组织和器官上分化出不定芽。比较常用的细胞分裂素有 6-BA(6-苄基腺嘌呤)、KT(激动素、吡啶氨基嘌呤)和玉米素(zeatin)。其中 6-BA 一般用于诱导植物的愈伤组织分化出丛芽，

而KT的作用主要是刺激培养物的细胞加速分裂,加快培养物的生长速度。

赤霉素类 赤霉素类植物生长调节剂的主要作用是刺激培养细胞的伸长,所以在组织培养中一般使用赤霉素来刺激分化的丛芽或小植株快速长高。赤霉素在高温下极易降解,一般是在过滤除菌后再加入到已经高温灭菌的培养基中。

生长素与细胞分裂素的协同调控作用在组织培养中非常重要,人们常把它们称为“激素杠杆”。例如,当生长素与细胞分裂素的比例适中,且生长素含量高于细胞分裂素时,主要诱导植物组织脱分化和根原基的形成;而当细胞分裂素的效应高于生长素

时,则主要诱导植物组织再分化和芽原基的形成。另外,植物生长调节剂在培养基中的用量要考虑组织内源激素的含量。只有准确把握内源激素与外源激素的协同作用,才能有效地操作组织培养中的“激素杠杆”,用好植物生长调节剂这根“魔术棒”。



几种植物生长调节剂



书海导航

1. 植物组织培养。潘瑞帆, 广州: 广东高等教育出版社, 2001年5月。
2. 植物组织培养教程。李浚明, 北京: 北京农业大学出版社, 1992年5月。
3. 改造生命之舟——细胞工程。邵健忠等, 杭州: 浙江大学出版社, 2002年12月。
4. 细胞工程。高伟良, 北京: 北京大学出版社, 1988年。

人教版®

2.2 动物细胞工程

动物细胞工程常用的技术手段有动物细胞培养、动物细胞核移植、动物细胞融合、生产单克隆抗体等，其中动物细胞培养技术是其他动物细胞工程技术的基础。

2.2.1 动物细胞培养和核移植技术

在治疗烧伤病人时，通常采用的方法是取烧伤病人的健康皮肤进行自体移植。但对一个大面积烧伤的病人来说，自体健康皮肤非常有限，使用他人皮肤来源不足，而且会产生排异反应。那么，怎样才能获得大量的自体健康皮肤呢？

许多动物的细胞能够分泌蛋白质，如抗体等。但是，单个细胞产生的蛋白质量是很少的，怎样才能获得大量的分泌蛋白呢？

细胞工程中的动物细胞培养技术为解决这些问题找到了出路（图 2-15）。

动物细胞培养

动物细胞培养（animal cell culture）就是从动物机体中取出相关的组织，将它分散成单个细胞，然后，放在适宜的培养基中，让这些细胞生长和增殖。那么，动物细胞培养的过程是怎样的？培养时又需要提供哪些必要的条件呢？

动物细胞培养的过程

成块的组织中细胞与细胞靠在一起，彼此限制了细胞的生长和增殖，因此，进行细胞培养时（图 2-16），首先将组织分散成许多单个细胞。方法是从健康动物体内取出组织块，剪碎，用胰蛋白酶或胶原蛋白酶处理一段时间，这样组织就会分散成单个细胞。然后，用培养液将分散的细胞稀释制成细胞悬液，再将细胞悬液放入培养瓶内，置于适宜环境中培养。悬液中分散的细胞很快就贴附在瓶壁上，称为细胞贴壁。培养贴附性细胞时，细胞要能够贴附



图 2-15 用培养的人细胞构建的人造皮肤

进行动物细胞传代培养时用胰蛋白酶分散细胞，说明细胞间的物质主要是什么成分？用胃蛋白酶行吗？

寻根问底

胰蛋白酶真的不会把细胞消化掉吗？为什么？

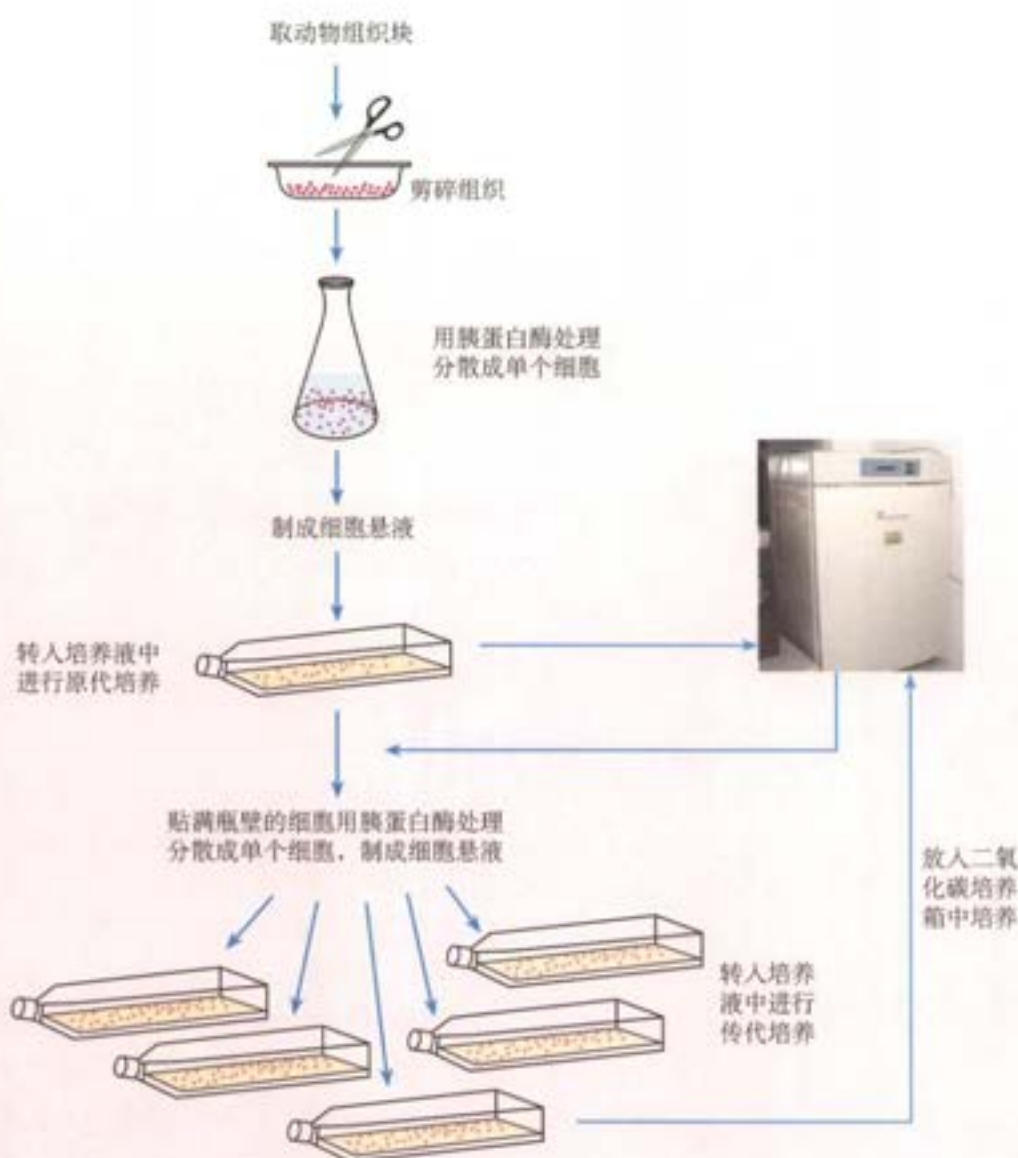


图 2-16 动物细胞培养过程示意图

于底物上才能生长增殖（图 2-17），这就要求培养瓶或培养皿的内表面光滑、无毒，易于贴附。以后，细胞进行有丝分裂，数量不断增多，当贴壁细胞分裂生长到表面相互接触时，细胞就会停止分裂增殖，这种现象称为细胞的接触抑制。人们通常将动物组织消化后的初次培养称为原代培养。

贴满瓶壁的细胞需要重新用胰蛋白酶等处理，然后分瓶继续培养，让细胞继续增殖。这样的培养过程通常被称为传代培养。传代培养的细胞一般传至 10 代后就不易传下去了。一般来说，细胞在传至 10 ~ 50 代时，增殖会逐



图 2-17 单层贴壁的猪输卵管上皮细胞



小知识

1957年,科学家采用胰蛋白酶消化处理和应用液体培养基的方法,获得了单层细胞培养。单层培养法的出现,对细胞培养的发展起了很大的推动作用。此后单层培养成为细胞培养普遍应用的技术。

渐缓慢,以至于完全停止,这时部分细胞的细胞核型可能会发生变化。当继续传代培养时,少部分细胞会克服细胞寿命的自然极限,获得不死性,这些细胞已经发生了突变,正在朝着等同于癌细胞的方向发展。目前使用的或冷冻保存的正常细胞通常为10代以内,以保持细胞正常的二倍体核型。



讨论

多细胞动物和人体的细胞都生活在内环境中,根据你所学的内环境的知识,思考并讨论以下问题:

1. 体外培养细胞时需要提供哪些物质?
2. 体外培养的细胞需要什么样的环境条件?

动物细胞培养的条件

一般来说,动物细胞体外培养需要满足以下条件。

无菌、无毒的环境 首先应保证被培养的细胞处于无菌、无毒的环境,即对培养液和所有培养用具进行无菌处理。通常还要在细胞培养液中添加一定量的抗生素,以防培养过程中的污染。此外,应定期更换培养液,以便清除代谢产物,防止细胞代谢产物积累对细胞自身造成危害。

营养 细胞体外培养所需营养物质与体内基本相同,例如,需要有糖、氨基酸、促生长因子、无机盐、微量元素等。将细胞所需的上述营养物质按其种类和所需数量严格配制而成的培养基,称为合成培养基。由于人们对细胞所需的营养物质还没有完全搞清楚,因此,在使用合成培养基时,通常需加入血清、血浆等一些天然成分。

温度和pH 细胞体外培养的适宜温度一般与动物的体温相近,哺乳动物多以 36.5 ± 0.5 ℃为宜。多数细胞生存的适宜pH为7.2~7.4。

气体环境 细胞培养所需气体主要有 O_2 和 CO_2 , O_2 是细胞代谢所必需的, CO_2 的主要作用是维持培养液的pH。进行细胞培养时,通常采用培养皿或松盖培养瓶,将其置于含95%空气加5% CO_2 的混合气体的培养箱中进行培养。

动物细胞培养技术的应用

动物细胞培养技术有很多用途。许多有重要价值的生



为什么对动物细胞进行培养时通常要添加血清?



小知识

在科学研究中,有时需要明确界定培养液的成分,而血清中由于含有许多未知成分,会对研究结果有所影响,因此,在进行细胞培养时,也可采用无血清培养。无血清培养基是在基本培养基中,添加一些已知的促进细胞生长和增殖的物质。

物制品,如病毒疫苗、干扰素、单克隆抗体等,都可以借助动物细胞的大规模培养来生产。动物细胞是基因工程技术中常用的受体细胞,因此,基因工程也离不开动物细胞的培养。培养的动物细胞还可以用于检测有毒物质,判断某种物质的毒性(图2-18)。科学家培养正常或各种病变的细胞,用于生理、病理、药理等方面的研究,如用于筛选抗癌药物等,为治疗和预防癌症及其他疾病提供理论依据。

动物体细胞核移植技术和克隆动物

离体的植物组织或细胞在适当的培养条件下可发育成完整的植株,那么,是否能用类似的方法,使动物的细胞发育成一个完整的个体呢?例如,能不能用高产奶牛的一个体细胞,培育出一头高产奶牛呢?

我们已经知道,高度分化的植物组织仍保持着全能性,但动物细胞与植物细胞不同,动物细胞的全能性会随着动物细胞分化程度的提高而逐渐受到限制,分化潜能逐渐变弱。因此,目前还不能用类似植物组织培养的方法获得完整的动物个体,用动物体细胞克隆的动物,实际是通过核移植(nuclear transfer)来实现的。

动物核移植是将动物的一个细胞的细胞核,移入一个已经去掉细胞核的卵母细胞中,使其重组并发育成一个新的胚胎,这个新的胚胎最终发育为动物个体。用核移植的方法得到的动物称为克隆动物。

哺乳动物核移植可以分为胚胎细胞核移植(图2-19)和体细胞核移植(图2-20)。由于动物胚胎细胞分化程度低,恢复其全能性相对容易,而动物体细胞分化程度高,恢复其全能性十分困难,因此,动物体细胞核移植的难度也就明显高于胚胎细胞核移植。

体细胞核移植的过程

应用体细胞核移植技术,我国已成功地克隆了牛、羊等多种哺乳动物。下面以克隆高产奶牛为例,来说明体细胞核移植的大致过程(图2-21)。



图2-18 通过细胞培养检测有毒物质



图2-20 用体细胞克隆的猪



图2-19 用胚胎细胞克隆的猴

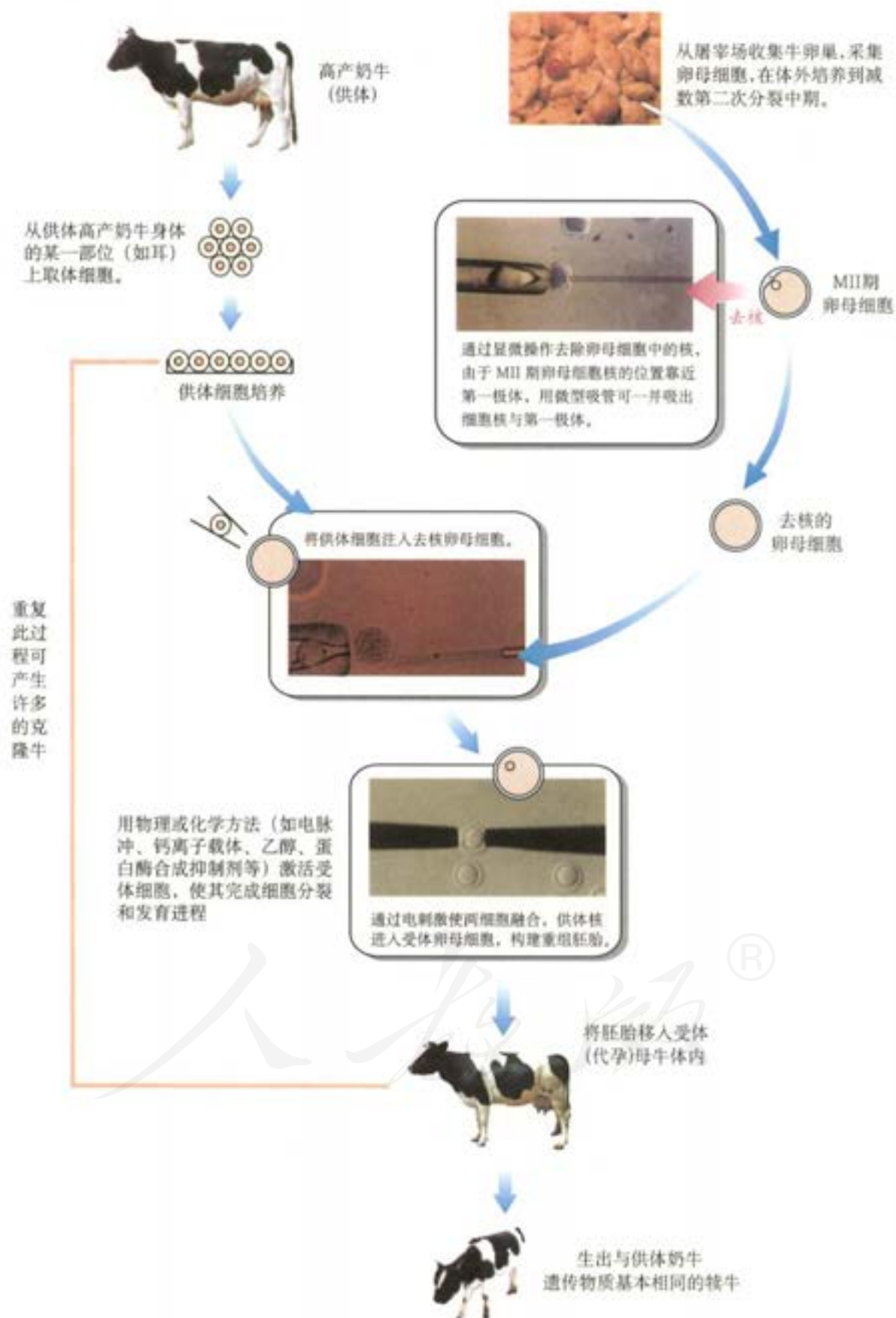


图 2-21 体细胞核移植过程流程图



讨论

1. 在体细胞的细胞核移植到受体卵母细胞之前, 为什么必须先去掉受体卵母细胞的核?

2. 用于核移植的供体细胞一般都选用传代 10 代以内的细胞, 想一想, 这是

为什么?

3. 你认为用上述体细胞核移植方法生产的克隆动物, 是对体细胞供体动物进行了 100% 的复制吗? 为什么?

体细胞核移植技术的应用前景

体细胞核移植技术在畜牧业、医药卫生, 以及其他领域有着广泛的应用前景。在畜牧生产中, 利用体细胞克隆技术可以加速家畜遗传改良进程, 促进优良畜群繁育; 在保护濒危物种方面, 可望利用体细胞核移植技术增加这些动物的存活数量。

在医药卫生领域, 转基因克隆动物可以作为生物反应器, 生产许多珍贵的医用蛋白; 在治疗人类疾病时, 转基因克隆动物细胞、组织和器官可以作为异种移植的供体; 人的核移植胚胎干细胞经过诱导分化, 形成相应的组织、器官后, 可以用于组织器官的移植 (图 2-22)。此外,

生物技术资料卡

目前核移植技术中普遍使用的去核方法是显微操作去核法。还有人采用其他方法, 如梯度离心、紫外光短时间照射、化学物质处理等。这些方法是在没有刺破透明带或卵母细胞质膜的情况下, 去除细胞核或使卵细胞核 DNA 变性, 从而达到去核目的。

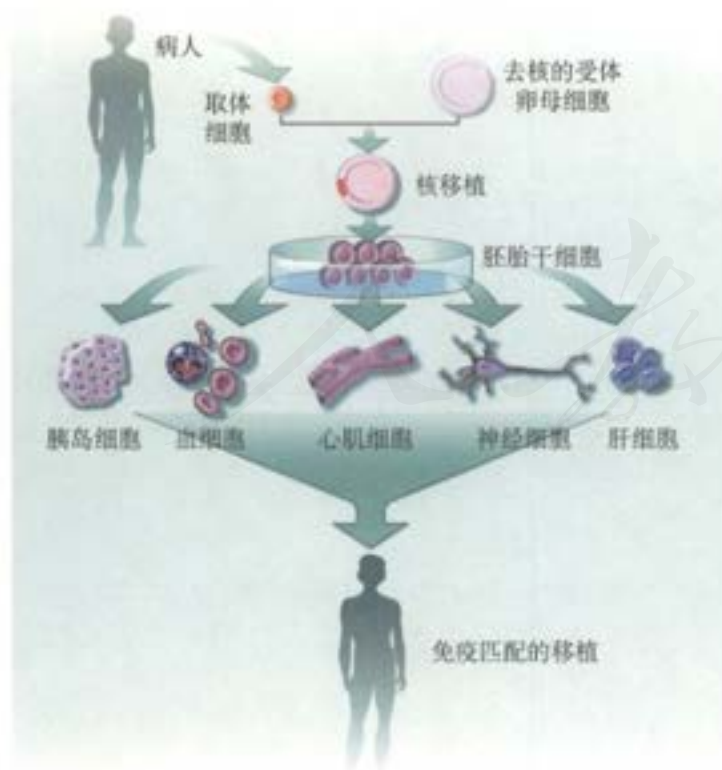


图 2-22 体细胞核移植技术用于人类疾病治疗

小知识

2001 年我国科学家将牛耳细胞克隆的胚胎移入 135 头牛体内, 每头牛移植了两枚克隆胚。从 2002 年 1 月 8 日起, 陆续获取了 14 头克隆牛犊。至 2003 年 11 月, 这批被克隆的牛, 存活的只有 5 头。

异想天开

- ▶ 有了体细胞核移植技术生产的器官，我们就可以像汽车坏了换零件一样，换掉生病的器官，这样一来，人类是否就可以长生不老了？



研究克隆动物和克隆细胞可使人类更深入地了解胚胎发育及衰老过程；用克隆动物做疾病模型，能使人们更好地追踪研究疾病的发展过程和治疗疾病。

体细胞核移植技术存在的问题

尽管体细胞核移植技术已经在许多种动物中获得成功，但其成功率仍然非常低，产下的活克隆动物占移植克隆胚胎的比率平均不到 10%。克隆技术的各个环节也有待进一步改进。此外，一些人士指出，绝大多数克隆动物还存在健康问题，许多克隆动物表现出遗传和生理缺陷，如体型过大、异常肥胖、发育困难、脏器缺陷、免疫失调等。对克隆动物食品的安全性问题也存有争议。总之，体细胞核移植技术的研究仍在继续深入，人类对克隆技术的应用还有许多问题需要解决。期待在不远的将来，克隆技术能更好地造福于人类。



思考与探究

1. 幼龄与老龄动物的组织细胞比较，分化程度低的与分化程度高的组织细胞比较，哪一种更易于培养？思考一下，这是什么道理？
2. 动物细胞培养要经过脱分化的过程吗？为什么？
3. 大熊猫是我国的国宝。尽管我国政府采取了许多保护措施，但由于大熊猫的繁殖能力低，幼仔成活率也低，它的数量仍然非常少。有科学家尝试采用体细胞核移植技术来克隆大

熊猫。请你结合本节所学内容并搜集相关资料了解这方面的研究进展。也有人不赞成进行克隆大熊猫的研究，认为保护大熊猫的最好措施就是保护现有大熊猫及其生存环境，对此你有什么看法？

4. 体细胞核移植技术在研究和应用上还存在什么问题？请你查阅资料，了解这方面的前沿动态。



早在 1938 年就有人提出核移植技术，但将它作为研究细胞分化的一种方法，却仅限于两栖类动物。早期的试验结果显示，受精卵最初几次分裂的细胞具有全能性；当胚胎进一步分化时，细胞就丧失了全能性，这时如果去掉胚胎的部分细胞，胚胎就不能发育为一个完整的个体。

1952 年，美国学者布里格斯 (R. Briggs) 和金 (J. King) 将豹蛙囊胚细胞的核移植到去核卵中，得到了能够发育的胚胎。他们改进了核移植技术后，在正常分裂的卵中有 80% 可以发育成幼蛙。这些研究表明，细胞的全能性虽然随着细胞分化程度的提高而逐渐受到限制，但细胞核仍含有保持该物种遗传性的全部基因，也就是说高度分化细胞的细胞核仍保持有全能性。

20 世纪 70 年代，我国科学家运用核移植技术，将鲤鱼囊胚细胞的细胞核，移植到已去核的鲫鱼未受精卵中，培养出鲤鲫移核鱼。这样的鱼兼有鲫鱼和鲤鱼的特点，并且具有正常的生殖能力。经有关部门鉴定，鲤鲫移核鱼的肌肉蛋白质含量比鲤鱼高 3.78%，脂肪含量比鲤鱼低 5.58%，生长速率比鲤鱼快 22%。

20 世纪 80 年代，哺乳动物的核移植研究有了很大的进展。1981 年，瑞士学者伊尔曼斯 (K. Illmensee) 和霍普 (P. Hoppe)

将小鼠胚胎的细胞核注入去核的受精卵中，获得了胚胎细胞核移植的小鼠。以后，人们用体内或体外成熟的卵母细胞代替了受精卵作为受体细胞，相继得到了胚胎细胞核移植的各种动物，如绵羊、牛、小鼠、兔、猪等。但体细胞核移植技术一直未能成功，直到 1997 年英国学者威尔穆特 (I. Wilmut) 等宣布用成年绵羊乳腺细胞得到体细胞核移植后代，才获得了突破性的进展，这就是轰动世界的绵羊多利。多利的诞生说明成年动物的体细胞核移植技术获得了成功。在以后的几年中，各种体细胞克隆动物，如小鼠、牛、山羊、猪，以及多种转基因克隆动物也相继问世。2017 年，经过我国科学家多年的努力，体细胞克隆猴“中中”和“华华”诞生。



“中中”和“华华”

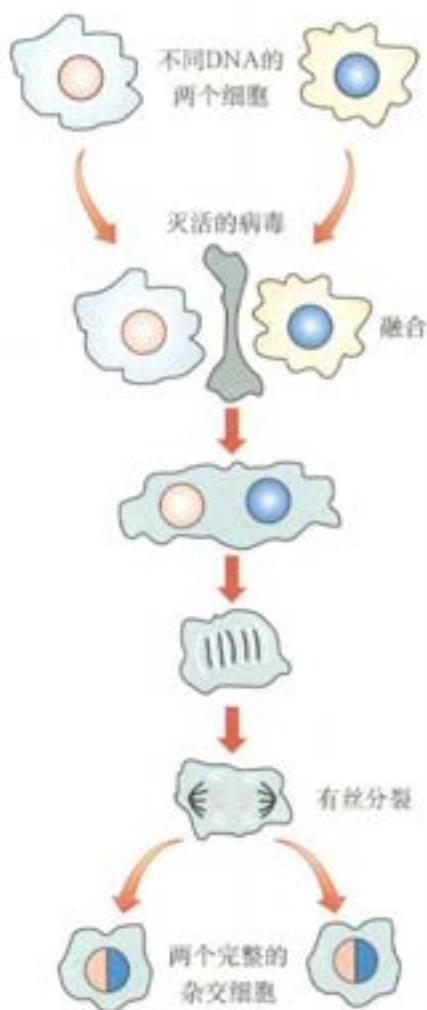


图 2-23 用灭活病毒诱导动物细胞融合过程的示意图

生物技术资料卡

灭活病毒诱导细胞融合的原理是：病毒表面含有的糖蛋白和一些酶能够与细胞膜上的糖蛋白发生作用，使细胞互相凝聚，细胞膜上的蛋白质分子和脂质分子重新排布，细胞膜打开，细胞发生融合。

灭活是指用物理或化学手段使病毒或细菌失去感染能力，但是并不破坏这些病原体的抗原结构。

2.2.2 动物细胞融合与单克隆抗体

我们知道，运用植物体细胞杂交技术，可以跨越植物种属间生殖隔离的屏障，培育出新的作物类型。那么，能不能采用类似的方法，让不同种动物的体细胞进行杂交呢？科学家经过长期的探索，终于实现了这样的设想。

动物细胞融合

动物细胞融合（cell fusion）也称细胞杂交（cell hybridization），是指两个或多个动物细胞结合形成一个细胞的过程，融合后形成的具有原来两个或多个细胞遗传信息的单核细胞，称为杂交细胞（hybrid cell）。

动物细胞融合与植物原生质体融合的基本原理相同，诱导动物细胞融合的方法与植物原生质体融合的方法也类似，常用的诱导因素有聚乙二醇（PEG）、灭活的病毒（图 2-23）、电激等。

动物细胞融合技术的发展简史

19 世纪 30 年代，科学家们相继在肺结核、天花、水痘、麻疹等疾病患者的病理组织中观察到多核细胞。19 世纪 70 年代，科学家们在蛙的血细胞中也看到了多核细胞的现象，但是受当时科技发展水平的限制，人们对这一现象并没有给予足够重视。1962 年，日本科学家发现日本血凝性病毒能引起艾氏腹水瘤细胞融合成多核细胞的现象。1965 年，英国科学家进一步证实了灭活的病毒在适当条件下也可以诱发动物细胞融合。后来，科学家又成功诱导了不同种动物的体细胞融合，并且能将杂种细胞培养成活。细胞融合技术不断改进，现在已经广泛应用于细胞学、遗传学、免疫学、病毒学等多种学科的研究工作中。

细胞融合技术突破了有性杂交方法的局限，使远缘杂交成为可能。至今种间、属间、科间，甚至动物和植物之间的细胞融合都已获得了成功。目前，这一技术已经成为研究细胞遗传、细胞免疫、肿瘤和生物新品种培育等的重要手段。特别是利用细胞融合技术而发展起来的杂交瘤（hybridoma）技术，为制造单克隆抗体开辟了新途径。

单克隆抗体

长期以来，人们为了获得抗体，采用的方法是向动物体内反复注射某种抗原，使动物产生抗体，然后，从动物血清中分离所需抗体。这种方法不仅产量低、纯度低，而且制备的抗体特异性差。为了解决这一难题，科学家们进

行了多年的研究和探索。他们发现，哺乳动物感染病原体（如病毒、细菌等）后，体内会形成相应的 B 淋巴细胞。B 淋巴细胞能分泌抗体，凝聚或杀死这些病原体。动物在免疫反应的过程中，体内产生的特异性抗体种类可多达百万种以上，但是每一个 B 淋巴细胞只分泌一种特异性抗体。因此，要想获得大量的单一抗体，必须克隆单一的 B 淋巴细胞，形成细胞群。遗憾的是，在体外培养条件下，一个 B 淋巴细胞是不可能无限

增殖的，怎样解决这一问题呢？

单克隆抗体的制备

1975 年，英国科学家米尔斯坦（C. Milstein）和德国科学家科勒（G. Köhler）在前人工作的基础上，继续探索和尝试，并且充分发挥想象力，设计了一个极富创造性的实验方案（图 2-24）。他们想到，如果把一种 B 淋巴细胞与能在体外大量增殖的骨髓瘤细胞进行融合，所得到的融合细胞就能大量增殖，产生足够数量的特定

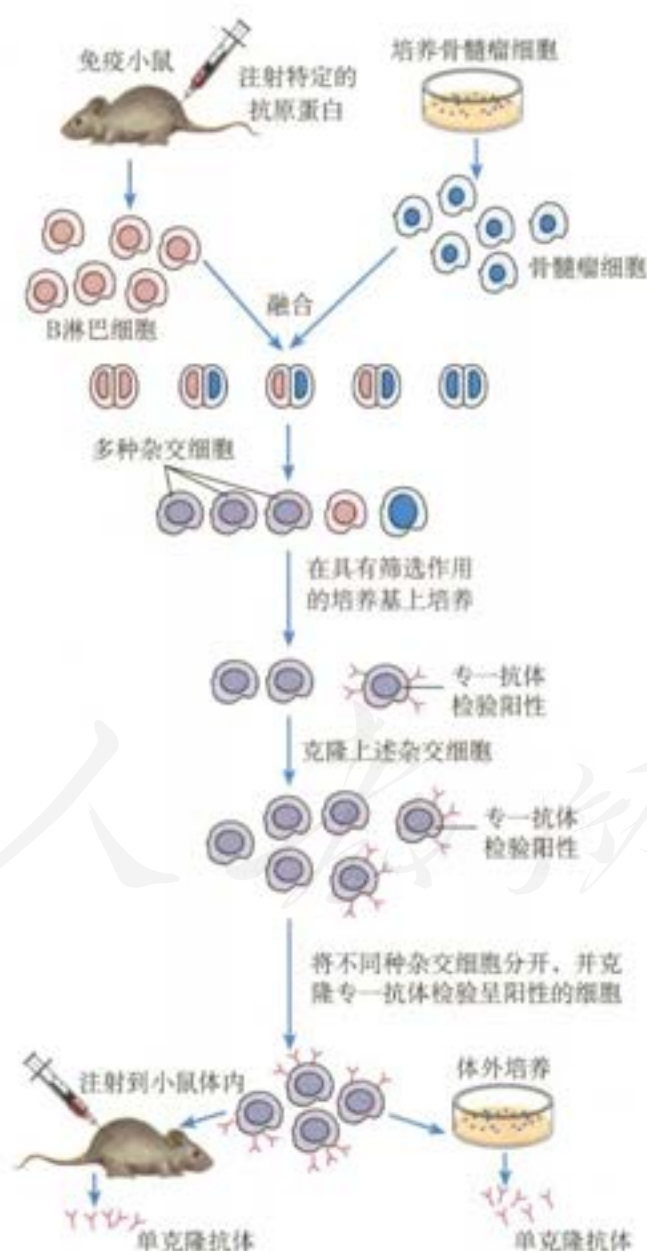


图 2-24 单克隆抗体制备过程示意图

抗体。根据这一设想,他们用羊的红细胞对小鼠进行注射,使小鼠产生免疫反应,从产生免疫反应小鼠的脾脏细胞中,他们得到了抗羊红细胞的抗体,这说明在小鼠的脾细胞中形成了相应的B淋巴细胞。他们又设法将鼠的骨髓瘤细胞与脾细胞中产生的B淋巴细胞融合,再用特定的选择性培养基进行筛选。在该培养基上,未融合的亲本细胞和融合的具有同种核的细胞都会死亡,只有融合的杂种细胞才能生长。这种杂种细胞的特点是既能迅速大量繁殖,又能产生专一的抗体。对上述经选择性培养的杂交瘤细胞,还需进行克隆化培养和抗体检测,经多次筛选,就可获得足够数量的能分泌所需抗体的细胞。最后,将杂交瘤细胞在体外条件下做大规模培养,或注射到小鼠腹腔内增殖,这样,从细胞培养液或小鼠腹水中,就可以提取出大量的单克隆抗体了。

由于米尔斯坦和科勒等人的杰出贡献,1984年,他们获得了诺贝尔生理学或医学奖。

单克隆抗体的应用

单克隆抗体最主要的优点在于它的特异性强、灵敏度高,并可大量制备。单克隆抗体技术在生物工程中占有重要的地位,至今,全球已经报道的单克隆抗体达10万多种,用于诊断和治疗用的单克隆抗体约有500余种。单克隆抗体主要有以下几方面的用途。

作为诊断试剂 单克隆抗体最广泛的用途是用作体外诊断试剂,它在多种人类疾病及动植物病害的诊断和病原鉴定中发挥着重要的作用。由于单克隆抗体纯度高、特异性强,所以能准确地识别各种抗原物质的细微差异,并跟一定抗原发生特异性结合,因此,单克隆抗体在诊断的应用上,具有准确、高效、简易、快速的优点。

利用同位素标记的单克隆抗体,在特定的组织中成像的技术,可定位诊断肿瘤、心血管畸形等疾病。

用于治疗疾病和运载药物 从目前临床试验来看,单克隆抗体主要用于癌症治疗,也有少量用于其他疾病的治疗。单抗药物剂型种类繁多,有单独使用的,也有与同位素、毒素、药物结合使用的。如果把抗癌细胞的单克隆抗体跟放射性同位素、化学药物或细胞毒素相结合,制成“生物导弹”,注入体内,借助单克隆抗体的导向作用,能将药物定向带到癌细胞所在位置,在原位杀死癌细胞。这样既不损伤正常细胞,又减少了用药剂量。因此,作为一种疗效高、毒副作用小的新型药物——“生物导弹”将有广阔的应用前景。

小知识

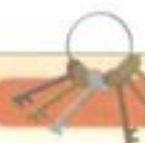
用抗人绒毛膜促性腺激素单克隆抗体做成的“早早孕诊断试剂盒”,灵敏度很高,在妊娠第8天就可以做出诊断,比原来的诊断方法提前了10天左右,可以避免孕妇在不知道妊娠的情况下因服用药物而对胎儿造成不利影响。该方法检测的准确率在90%以上。





实践活动

有条件的学校，可组织学生参观大学、科研单位或相关企业，了解动物细胞培养的过程；或者组织学生到相关单位做与细胞培养有关的公益劳动，如清洗培养用具、配制培养液或进行灭菌、消毒等工作。就自己在实践活动中的见闻和体会写一篇短文。



思考与探究

1. 植物体细胞杂交技术与动物细胞融合技术有什么不同？
2. 制备单克隆抗体时，为什么要选用 B 淋巴细胞与骨髓瘤细胞融合形成杂交瘤细胞？
3. 假如你掌握了动物细胞融合技术，你想用它来解决什么问题？



拓展视野

多利羊猜想

据 2003 年 2 月 15 日报道，世界上第一只体细胞克隆动物——克隆羊多利因为肺部感染而死亡。它的寿命只有 7 岁，而普通羊的平均寿命在 12 岁左右。

大家知道，用来克隆多利的母羊当时 6 岁，那么多利羊的生理年龄是从 6 岁开始累计呢，还是像新生羊那样从 0 岁开始累计？这一涉及克隆动物是否早衰的问题，被形象地称为“多利羊猜想”。

1996 年 7 月 5 日诞生的克隆羊多利标志着一种新的生物技术的面世，因此，多利的一举一动都为世人所关注。培育多利羊的罗斯林研究所所长哈里·格里芬说，羊通常可以存活 11 ~ 12 年，而肺部感染对于

高龄羊来说是“典型的病症”，并且他在大约一年前就已经发现，多利的左后腿患上了关节炎，而这种疾病，同样也是典型的“高龄病症”。多利的死亡再次引发了关于克隆动物是否“早衰”的争论。继多利问世之后，克隆技术在近年来得到了一定的发展，各国科学家相继克隆出牛、鼠、猪等动物，但与此同时，也陆续有科学家发现一些克隆动物表现出“早衰”迹象，有学者认为，这是由克隆技术自身不完善而对克隆动物的健康造成的危害。但是，科学界对此还没有最后的结论。

早在 1999 年 5 月 27 日，由培育多利羊的罗斯林研究所科学家组成的一个研究

小组就宣布，多利的染色体端粒长度比同龄普通绵羊的短（端粒是位于染色体末端的DNA片段。有人认为，端粒随年龄的增长而缩短。染色体端粒缩短的细胞似乎更易感染疾病和死亡）。这意味着多利可能会比普通绵羊更快地走向衰老和死亡。

美国科学家采用细胞核移植技术，用成年鼠的体细胞培育成功了克隆鼠，并在克隆鼠的基础上继续克隆，总共成功培育出6代克隆鼠。除唯一的一只第6代克隆鼠被其他实验鼠吃掉外，前5代克隆鼠的健康状况正常，并未表现出早衰迹象。如果克隆技术会导致健康缺陷，这些缺陷在下一代克隆鼠身上应当表现得更为明显。人们还发现，克隆鼠的染色体端粒长度不但没有异常缩短，相反的是，每一代克隆鼠的端粒长度都比上一代稍长一点儿。这表明，克隆过程并不一定会导致端粒缩短。不过，每一代克隆都比上一代更加困难，总体成功率只有1%~2%。因此，不排除存在这样一种可能性，即克隆成功的实验鼠，都来自那些染色体端粒本身就特别长的细胞。

总之，关于克隆动物是否早衰的争论大体可以分为两派：一派认为，克隆动物的端粒比较短，克隆动物的基因不正常，克隆动物早衰是一种本质现象。另一派则认为，克隆动物的遗传物质是正常的，目前发现的早衰迹象是在克隆过程中出现的一些技术问题造成的，或者克隆动物在发育中出现了变异，早衰只是偶然现象，也许有的变异会使得克隆动物更加长寿。不过，由于目前全世界的克隆动物较少，诞生时间都不很长，因此，到目前为止这一问题尚未定论。不管研究结果如何，这一争论有利于人类对生命现象的进一步了解，也有利于克隆技术更成熟地应用于医疗、农牧业等各个领域。



克隆羊多利与它的缔造者韦尔穆特



进展追踪

通过报纸、杂志、互联网或其他媒体搜集资料，了解细胞工程的新进展，就自己感兴趣的领域，自定选题，写一篇专题综述报告。

参考选题：1. 植物组织培养技术在我国农业生产中的应用；2. 我国的体细胞克隆动物；3. 克隆动物的寿命；4. 单克隆抗体与疾病诊断；5. 单克隆抗体的种类。

专题小结

动植物细胞工程技术在农牧业生产、医药卫生等领域有广泛的用途。

每个生物细胞都具有全能性的特点。在无菌和人工控制的适宜条件下，离体的植物组织、器官、细胞都可以发育成一株完整的植株；植物的体细胞在一定条件下可以融合，融合而成的杂种细胞也可以培育成新的植物体。在农业、林业生产中应用这些技术，可以实现种苗的快速繁殖、培育无病毒植株、加快作物及苗木育种，以及实现细胞产物的工厂化生产。

动物细胞培养技术是动物细胞工程

技术的基础。与植物细胞相似，提供适宜的培养条件，动物细胞也可以在体外生长和增殖；用适宜方法诱导动物的细胞，可以实现细胞融合。一个已分化的动物体细胞通过核移植技术，也可以发育成一个动物个体。利用动物细胞工程技术，可以生产单克隆抗体药物、医用蛋白，提供移植用的器官组织，加快优良畜群繁育等，在人类征服癌症等疑难疾病，促进生物制药、医学及农牧业的快速发展等方面，展现出诱人的前景。



书海导航

1. 组织培养和分子细胞学技术。鄂征，北京：北京出版社，1999年。
2. 现代生物学导论。寿天德，徐耀忠，合肥：中国科学技术大学出版社，1998年。
3. 细胞工程。李志勇，北京：科学出版社，2003年。





网站链接



专题 3 胚胎工程

通常情况下，一只母羊一胎只生1~2只羔羊。畜牧业生产上需要快速增加高产肉羊或奶羊的数量。怎样才能提高羊的繁殖速率呢？

能不能在体外获得高产肉羊或奶羊的大量胚胎，再分别移植到低产的母羊体内，以获得多个高产羊呢？通过胚胎工程的迅猛发展，这一设想正在变为活生生的现实。你看，一只优秀的高产肉羊，经采用胚胎移植技术处理，一次就出生了这么多羔羊！

胚胎工程的应用当然不只限于羊，在猪、牛等家畜的养殖，以及人类的生殖和医药卫生方面同样可以发挥重要作用。



胚胎工程是指对动物早期胚胎或配子所进行的多种显微操作和处理技术，如体外受精、胚胎移植、胚胎分割、胚胎干细胞培养等技术。经过处理后获得的胚胎，还需移植到雌性动物体内生产后代，以满足人类的各种需求。

供体母羊
(布尔山羊)

受体母羊(云南黑山羊)



云南黑山羊产下的纯种羔羊(布尔山羊)

胚胎移植用于山羊



道赛特肉用试管羊

作为胚胎工程技术之一的胚胎移植技术，至今已有100多年的研究历史。1890年，英国剑桥大学的生物学家将纯种安哥拉兔的两个4细胞胚胎移入一只纯种比利时兔的输卵管内，成功地得到两只纯种安哥拉子兔。这个实验首次证实同种动物的胚胎在异体动物体内发育的可能性。随后又在许多实验动物方面重复了类似的实验。20世纪30~70年代，相继获得了绵羊、山羊、猪和马等胚胎移植的后代，胚胎移植的技术日渐成熟。20世纪60年代以后，牛、羊的胚胎移植开始在畜牧生产领域应用，并且成为许多胚胎工程不可缺少的基础环节。

胚胎移植技术的成功和应用带动和加速了体外受精技术的研究。1951年，美籍华人生殖生物学家张明觉和澳大利亚生物学家奥斯汀(C. R. Austin)在研究家兔体外受精时，发现了哺乳动物精子在与卵子受精前的获能现象。进一步的研究揭示了精子获能的机理，并改进了卵母细胞体外培养条件。这些理论和技术上的成就，推动了哺乳动物体外受精技术的进一步发展和应用。20世纪60~80年代，试管小鼠、试管大鼠、试管牛、试管羊、试管猪以及试管婴儿等相继问世。这项技术的应用可望解决胚胎移植中胚胎的生产成本高及来源缺乏等关键问题，并为其他胚胎工程技术提供了丰富的实验材料和必要的研究手段。

20世纪80年代以来，在胚胎移植和体外受精技术成熟的基础上，科学家又进行了不懈的探索，使胚胎分割、性别鉴定、体细胞克隆、转基因胚胎、胚胎干细胞培养等技术应运而生。这些技术与胚胎移植和体外受精技术相互配合，将进一步挖掘动物的繁殖潜力，在畜牧业和制药业等领域发挥重要的作用。

尽管其中的某些技术尚处于深入研究和试用阶段，但应用前景是无限光明的。

3.1 体内受精和早期胚胎发育

胚胎工程 (embryo engineering) 的许多技术, 实际是在体外条件下, 对动物自然受精和早期胚胎发育条件进行的模拟操作。因此, 了解哺乳动物受精和早期胚胎发育的规律, 就显得十分重要了。

精子和卵子的发生

精子的发生

哺乳动物精子的发生 (spermatogenesis) 是在睾丸 (图 3-1) 内完成的。雄性动物从初情期 (相当于人的青春期) 开始, 直到生殖机能衰退, 在睾丸的曲细精管内不断进行着生殖细胞的增殖, 源源不断地产生精子。

各种家畜精子发生的过程大体可以分为三个阶段。

第一阶段, 位于曲细精管管壁的精原细胞进行数次有丝分裂, 产生大量的精原细胞, 其中部分精原细胞经过染色体复制和其他物质的合成, 进一步形成初级精母细胞。

第二阶段, 初级精母细胞连续进行两次分裂 (即减数分裂, 包括 M I 和 M II); 第一次分裂产生两个次级精母细胞, 每个次级精母细胞再分裂一次产生两个含单倍染色体的精子细胞。

第三阶段, 圆形的精子细胞经过变形 (图 3-2), 其中



图 3-1 哺乳动物的睾丸

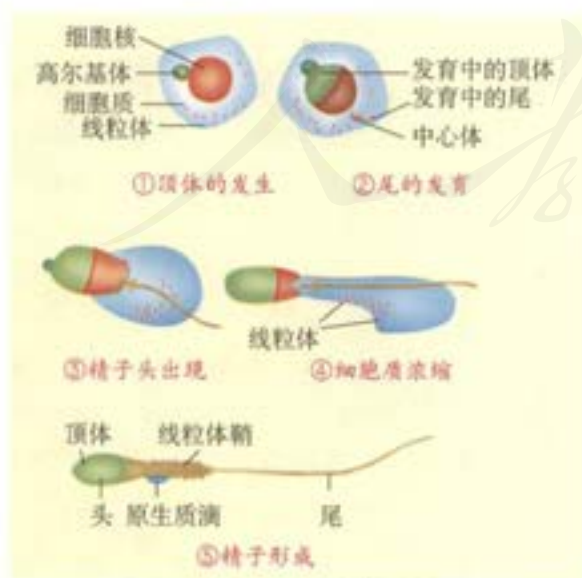


图 3-2 精子细胞变成精子示意图

小知识

几种主要家畜
每次射精量和精子数 (平均值)

种类	射精量 / mL	精子数 / 亿
牛	5	50
绵羊	1	30
猪	215	215
马	70	70
兔	1	7

的细胞核变为精子头的主要部分，高尔基体发育为头部的顶体，中心体演变为精子的尾，线粒体聚集在尾的基部形成线粒体鞘。同时，细胞内的其他物质浓缩为球状，叫做原生质滴，随精子的成熟过程向后移动，直到最后脱落。对于多数家畜来说，精子在睾丸内形成的时间为两个月左右。

哺乳动物成熟的精子外形似蝌蚪，分头、颈和尾三大部分。不同种动物精子的形态相似，大小略有不同（图3-3），与动物的体型大小无关。例如，大鼠的精子190 μm 长，而大象的精子却只有50 μm 长。

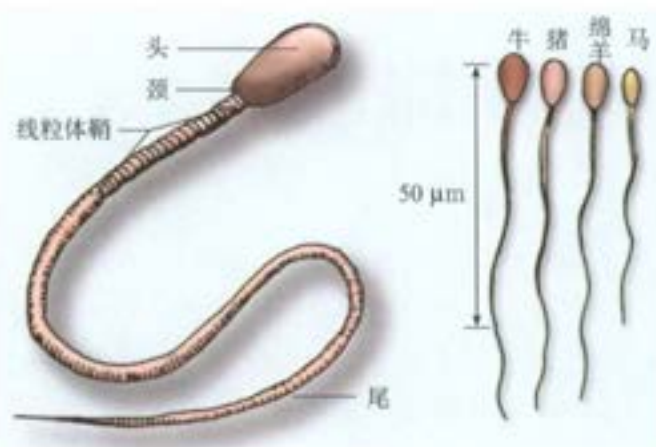


图3-3 成熟精子和几种主要家畜的精子

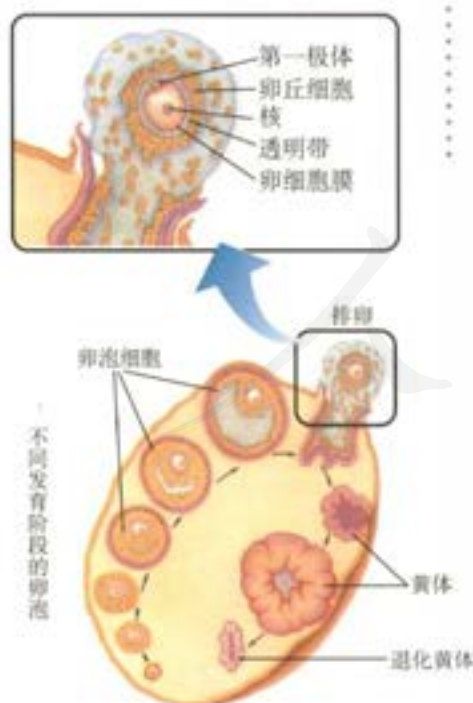


图3-4 哺乳动物卵巢、卵泡和卵子的关系



讨论

1. 家畜每次射精排出的精子数以亿计，但是通常只有一个精子能够与卵子结合，这能说是一种浪费吗？怎样理解这一现象？
2. 精子细胞变成精子的过程中，细胞中很多结构会消失，而细胞核和线粒体都保留下来，对这一现象怎样理解？为什么精子中的线粒体集中在尾的基部？

卵子的发生

卵子的发生 (oogenesis) 是在雌性动物的卵巢内完成的（图3-4）。动物的胚胎在性别分化以后，雌性胎儿卵巢内的卵原细胞，就通过有丝分裂的方式不断增加其数量，并进一步演变为初级卵母细胞，这时，它被卵泡细胞包围，形成卵泡。初级卵母细胞需经过减数分裂才能变为成熟的卵子。减数第一次分裂是在雌性动物排卵

前后完成的,其结果产生一个次级卵母细胞和第一极体,进入输卵管,准备与精子受精。减数第二次分裂是在精子和卵子结合的过程中完成的,次级卵母细胞经分裂产生一个成熟的卵子和第二极体(图3-5)。当在卵细胞膜和透明带的间隙可以观察到两个极体时,说明卵子已经完成了受精,这是判断卵子是否受精的重要标志。

哺乳动物卵泡的形成和在卵巢内的储备,是在出生前(即胎儿时期)完成的,这是精子和卵子在发生上的重要区别。

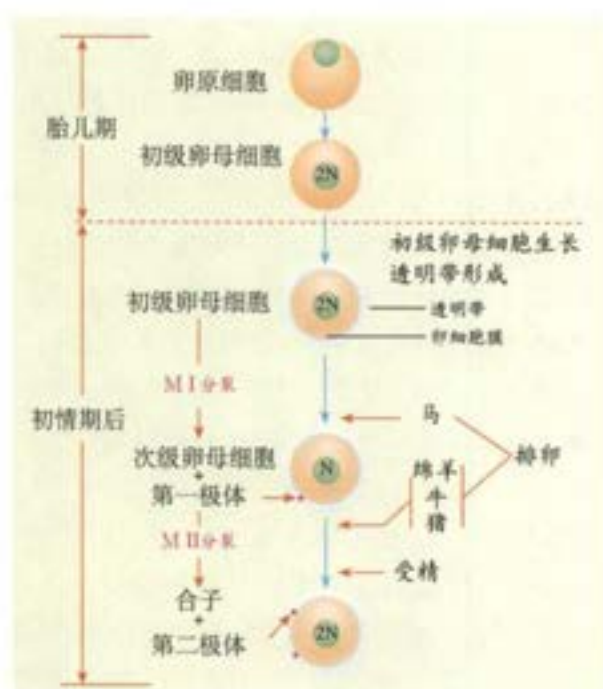


图3-5 家畜卵子发生和成熟示意图

小知识

牛刚出生时,每侧卵巢大约含有15万个卵泡,每个卵泡内都有一个初级卵母细胞。出生后能够发育成熟排卵的卵泡只有200个左右,一生产下犊牛4~5头。其他哺乳动物的情况相似,可见哺乳动物一生中卵母细胞的有效利用率很低,这正是胚胎工程要研究解决的问题之一。



讨论

1. 一个卵泡中能形成几个成熟的卵子?
2. 排卵是指卵子从卵泡中排出,还是指卵泡从卵巢中排出?
3. 刚排出的卵是成熟的卵子吗?它在母体的什么部位与精子受精?

受精

受精(fertilization)是精子与卵子结合形成合子(即受精卵)的过程。它包括受精前的准备阶段和受精阶段。在自然条件下,受精是在雌性的输卵管内完成的。

准备阶段1——精子获能

生殖生物学家张明觉早年进行过兔的体外受精研究。他曾用各种方法处理取自附睾的精子，但都无法使这些精子与卵子在体外受精。这是什么原因呢？后来他发现在多种动物中，进入雌性动物生殖道的精子虽然运行的时间不长，但必须经过这一时段才能与排出的卵子受精。也就是说，刚刚排出的精子，不能立即与卵子受精，必须在雌性动物生殖道发生相应的生理变化后，才能获得受精能力。1951年，张明觉和奥斯汀发现了这一生理现象，并把它称为“精子获能”(capacitation)。这一发现加速了科学家对精子获能机理的研究，并且找到了使精子在体外获能的物质，实现了各种哺乳动物精子在体外条件下的获能。

张明觉，美籍华人，生殖生物学家、育种学家和避孕药业的创始人。1908年生于山西省，1933年毕业于清华大学心理系。1938年赴英国，在剑桥大学主攻动物育种和人工授精，并获得博士学位。1945年任美国乌斯特实验生物研究所研究员，研究成果很多。1951年发现“精子获能”现象，为哺乳动物体外受精奠定了理论基础。由于他在体外受精和胚胎移植研究中作出的重大贡献，被人们誉为“试管婴儿”的先驱。

准备阶段2——卵子的准备

卵子一般在排出后2~3h才能被精子穿入。一些实验证据表明，卵子在受精前也要经历类似精子获能的过程。动物排出的卵子成熟程度不同，有的可能是初级卵母细胞，如马、犬等，有的可能是次级卵母细胞，如猪、羊等。但它们都要在输卵管内进一步成熟，当达到减数第二次分裂的中期时，才具备与精子受精的能力。

受精阶段

哺乳动物的受精过程主要包括：精子穿越放射冠和透明带，进入卵细胞膜，原核形成和融合(图3-6)。

获能后的精子与卵子相遇时，首先发生顶体反应，使顶体内的酶释放出来(图3-7)。放射冠是包围在卵子透明带外面的卵丘细胞群，精子所释放的顶体酶可直接溶解卵丘细胞之间的物质，形成精子穿越放射冠的通路。

穿过放射冠的精子立即与透明带接触，顶体酶随后将透明带溶出一条孔道，精子借自身运动穿越透明带，并接触卵细胞膜。在精子触及卵细胞膜的瞬间，会产生阻止后来的精子进入透明带的生理反应，这个反应称做透明带反应，它是防止多个精子进入透明带，引起多精

进行体外受精时，将卵母细胞取出后，是否应当将它置于与输卵管中相似的环境，让它进一步成熟？

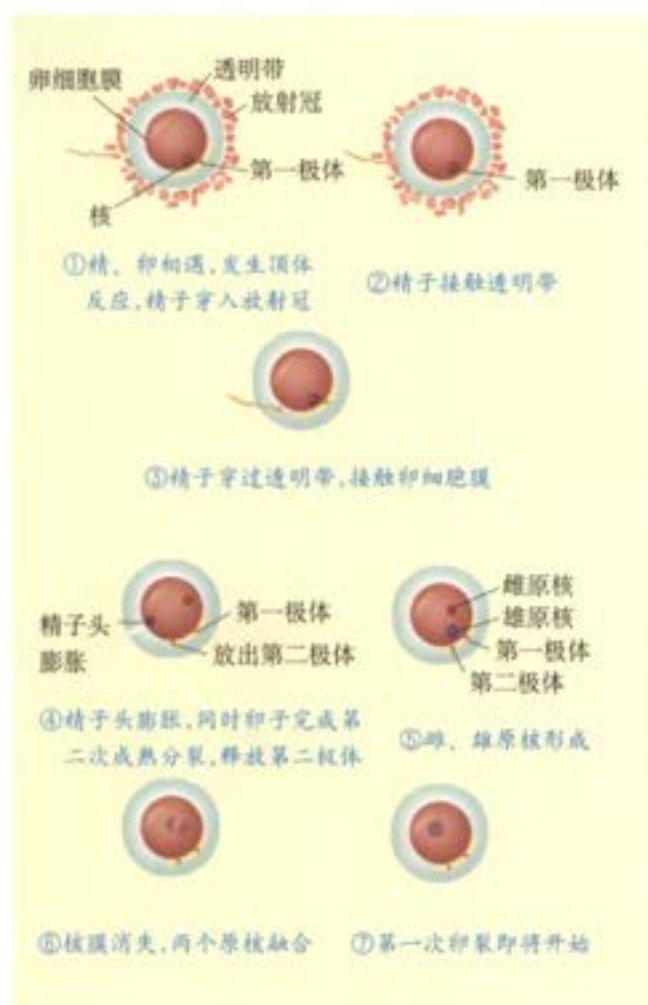


图3-6 哺乳动物受精过程示意图

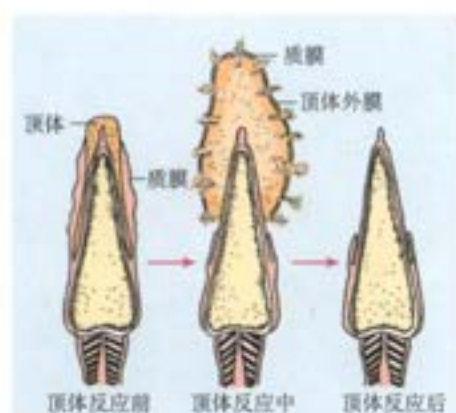


图3-7 哺乳动物精子的顶体反应示意图

小知识

多数哺乳动物的第一极体不进行减数第二次分裂形成两个第二极体。

子入卵受精的第一道屏障。

只有穿过透明带的精子才能与卵细胞膜接触。由于卵细胞膜表面有大量的微绒毛,当精子与卵细胞膜接触时,立即被微绒毛抱合,随后,精子外膜和卵细胞膜相互融合,精子入卵。

精子入卵后,卵细胞膜会立即发生一种生理反应,拒绝其他精子再进入卵内,这种生理反应称做卵细胞膜反应。这是防止多精入卵受精的第二道屏障。

精子入卵后的另一个变化,是尾部脱离,并且原有的核膜破裂;随后,精子形成一个新的核膜,最后形成一个比原来精子核还大的核,叫做雄原核。与此同时,精子入卵后被激活的卵子完成减数第二次分裂,排出第二极体后,形成雌原核,雌原核一般略小于雄原核。

雄、雌原核充分发育后,相向移动,彼此接触,二者体积缩小、合并,两组核染色体合为一组,形成一个

含二倍染色体的合子，也就是受精卵。受精过程至此结束，受精卵的发育也由此开始。

胚胎发育

合子形成后即在输卵管内进行有丝分裂，开始发育。

胚胎发育的早期有一段时间是在透明带内进行的，这一时期称为卵裂（cleavage）期。其特点是：细胞分裂方式为有丝分裂，细胞的数量不断增加，但胚胎的总体积并不增加，或略有缩小。

根据胚胎形态的变化，可将早期发育的胚胎分为以下几个阶段（图3-8）。

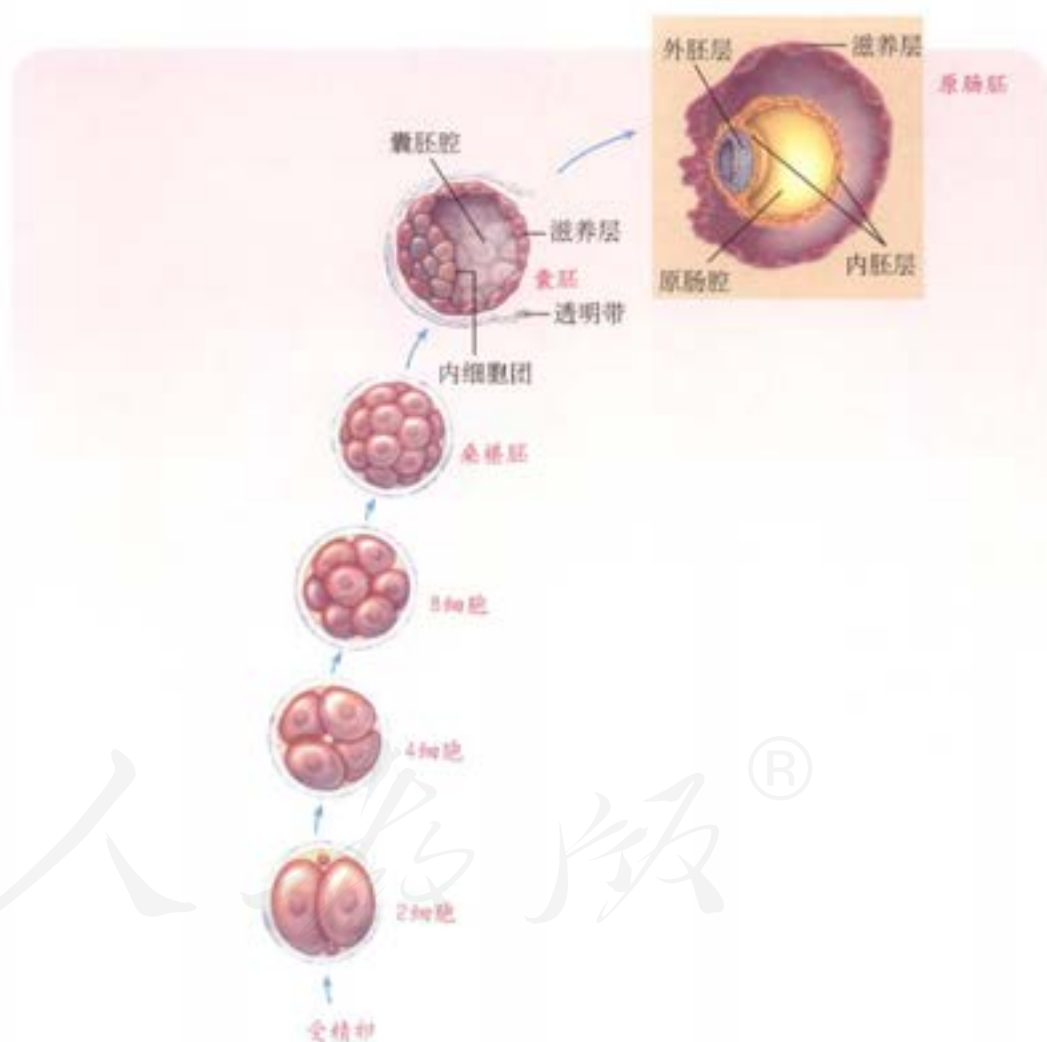


图3-8 哺乳动物早期胚胎的发育

桑椹胚 当胚胎细胞数目达到32个左右时，胚胎形成致密的细胞团，形似桑椹，叫做桑椹胚（morula）。实验证实，这一阶段前的每一个细胞都具有发育成完整胚

胎的潜能,属于全能细胞。

囊胚 桑椹胚进一步发育,细胞开始出现分化。聚集在胚胎一端,个体较大的细胞,称为内细胞团(inner cell mass, ICM),将来发育成胎儿的各种组织,而沿透明带内壁扩展和排列的、个体较小的细胞,称为滋养层细胞,它们将来发育成胎膜和胎盘。

随着胚胎的进一步发育,胚胎的内部出现了含有液体的囊腔——囊胚腔,这个时期

的胚胎叫做囊胚(blastula)。囊胚进一步扩大,会导致透明带的破裂,胚胎从其中伸展出来,这一过程叫做孵化(hatching)。

原肠胚 囊胚孵化后,再进一步发育,内细胞团表层的细胞形成外胚层,下方的细胞形成内胚层。这时的胚胎称为原肠胚(gastrula),由内胚层包围的囊腔叫原肠腔。滋养层则发育为胎儿的胎膜和胎盘。



资料分析

不同动物受精卵的发育及其进入子宫的时间有明显的差别。请分析下表,讨论相关问题。

表 3-1 各种动物受精卵发育及进入子宫的时间

动物种类	受精卵发育/h					进入子宫时发育天数和发育阶段	
	2 细胞	4 细胞	8 细胞	16 细胞	桑椹胚	天	发育阶段
小鼠	24 ~ 38	38 ~ 50	50 ~ 60	60 ~ 70	68 ~ 80	3	桑椹胚
山羊	24 ~ 28	48 ~ 60	72	72 ~ 96	96 ~ 120	4	10 ~ 16 细胞
绵羊	36 ~ 38	42	48	67 ~ 72	96	3 ~ 4	16 细胞
猪	21 ~ 51	51 ~ 66	66 ~ 72	90 ~ 110	110 ~ 114	2 ~ 2.5	4 ~ 6 细胞
马	24	30 ~ 36	50 ~ 60	72	98 ~ 106	6	囊胚
牛	27 ~ 42	44 ~ 65	46 ~ 90	96 ~ 120	120 ~ 144	4 ~ 5	8 ~ 16 细胞

注:马、牛为排卵后时间,其他动物为交配后时间。

讨论

1. 表中哪种动物的胚胎在进入子宫时发育程度最高?

2. 将体外培养的马胚胎移植到母马子宫时,应选择什么阶段的胚胎?如果

换成牛又该怎样处理?

3. 为什么说关于动物的体内受精和胚胎发育的研究,会为胚胎工程提供理论基础?请结合本节内容举例说明。



思考与探究

1. 以精子的运行途径为线索, 设计一幅简图, 来说明哺乳动物的受精过程。

2. 哺乳动物精子和卵子的发生主要有哪些相似点或不同点?

3. 当你了解到精子需要获能, 受精过程中有防止多精入卵的现象时, 你是否提出过这样

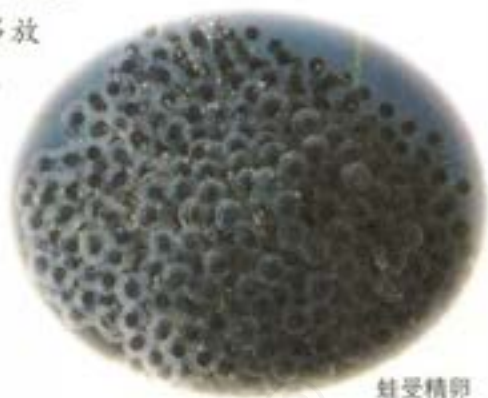
的问题: 精子在雌性生殖道内是如何获能的? 防止多精入卵的两道防线的形成机制究竟是什么? 如果你提出过这样的问题, 并能通过查阅书籍, 上网或请教专家来解决问题, 说明你在深入探讨问题方面又前进了一大步。除了这两个问题外, 你还能提出其他问题吗?



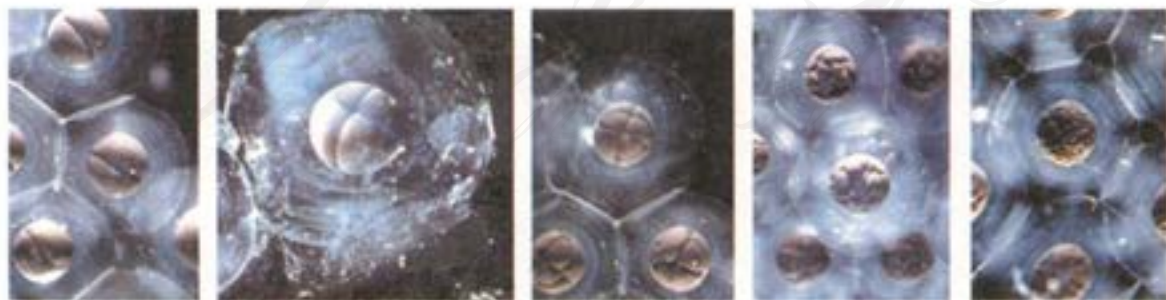
课外活动

观察蛙受精卵的分裂

春天的清晨, 在小河、池塘和水田旁边仔细观察, 往往会看到一团团漂浮在水面上的蛙受精卵。球状受精卵的外面有胶膜包裹着, 上面呈黑色, 下面呈白色。取一个广口瓶, 瓶中装 $2/3$ 的澄清池水, 再放入一些金鱼藻。采集少量的蛙受精卵, 放进广口瓶中, 每 100 mL 水中最多放 50 粒。将广口瓶放在向阳、温暖的地方, 观察并记录蛙受精卵的发育情况 (可使用放大镜或解剖镜观察)。一般情况下, 蛙卵受精后经过 2 ~ 3 h, 就开始第一次分裂。注意观察胚的外形和体积有没有变化。能否看到胚细胞数目的增多? 小蝌蚪发育成幼蛙后, 你应当怎么办?



蛙受精卵



蛙受精卵的分裂

3.2 体外受精和早期胚胎培养

你听说过试管牛、试管羊吗？你知道什么是试管动物技术吗？试管动物技术是指通过人工操作使卵子和精子在体外条件下成熟和受精，并通过培养发育为早期胚胎后，再经移植产生后代的技术。发展这种技术有什么意义呢？

从试管牛说起

我国大多数牛的品种，产肉量或产奶量与国际上的优良品种相比都有一定差距。例如，我国目前每头奶牛年平均产奶量为3 000 kg左右，而国际上良种奶牛年平均产奶量可达10 000 kg；我国蒙古黄牛平均每头体重300 kg左右，而澳大利亚纯种海福特牛两岁时体重就可达到800 kg（图3-9）。因此，需要从国外引进优良品种，而引进一头成年牛需要3万~5万元，如此高昂的价格使得我们不可能靠大量引进良种牛来提高产量。那么，能不能让引进的良种牛快速地大量繁殖呢？遗憾的是，牛的生育率很低，一头牛一胎一般只产一头犊牛，一生约生育四五次。如何解决这个难题呢？

我们知道，牛的生育率虽然低，但是母牛体内的卵母细胞却相当多，其卵巢中的卵母细胞数要比一生中正常排出的卵子多1 000倍。公牛产生的精子数量就更多了。如果能够分别采集牛的精子和卵母细胞，让它们在体外完成受精并且发育成一个个小胚胎，再将这些胚胎移植到一个本地牛（如黄牛）体内“借腹怀胎”，不就可以实现良种牛的快速大量繁殖吗？这的确是很好的设想，但是，要将这一美好设想变成现实，又需要付出艰苦的努力，需要开发相应的技术。在这项技术中首先要做的是体外受精和早期胚胎的培养。

体外受精

哺乳动物的体外受精主要包括卵母细胞的采集、精子的获取和受精等几个主要步骤。

卵母细胞的采集和培养

对于实验动物如小鼠、兔，以及家畜猪、羊等，采用的主要方法是：用促性腺激素处理，使其排出更多的卵子，然后，从输卵管中冲取卵子，直接与获能的精子在体外受精。



图3-9 试管牛（两头小牛）

小知识

超数排卵处理的做法是给供体注射促性腺激素，使一头母畜一次排出比自然情况下多几倍到十几倍的卵子，用于体外受精和早期胚胎培养。

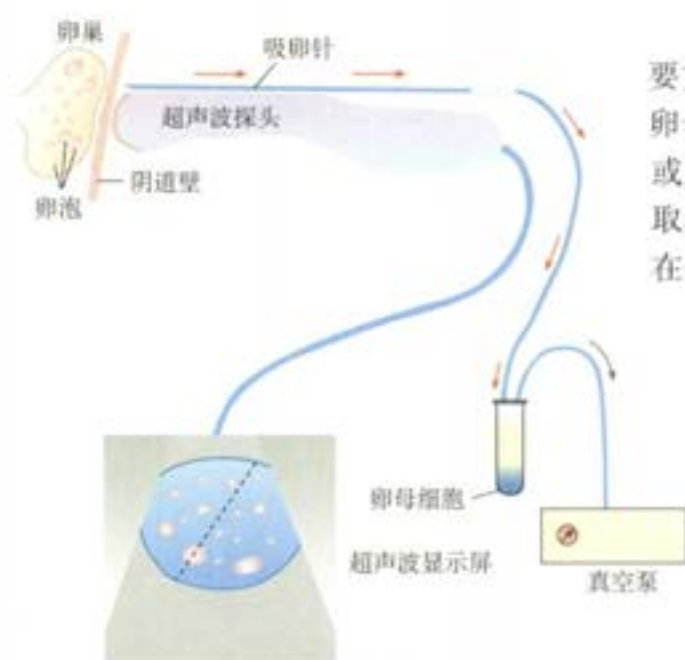


图3-10 牛活体采卵示意图

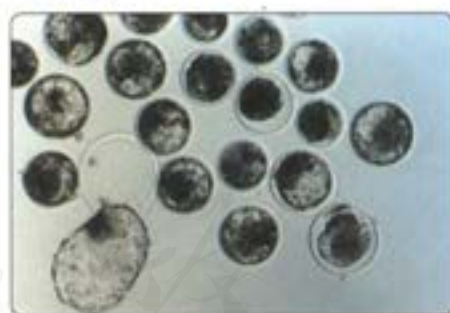
对于大家畜或大型动物，如牛，采用的主要方法是：从屠宰场已屠宰母畜的卵巢中采集卵母细胞，也可以借助超声波检测仪、内窥镜或腹腔镜等工具，直接从活体动物的卵巢中吸取卵母细胞（图3-10）。采集的卵母细胞，都要在体外经人工培养成熟后，才能与获能的精子受精（图3-11）。活体采卵在一些畜牧业发达的国家已开始商业化生产，它对充分发挥优良母畜的繁殖潜力具有重要意义。



牛卵巢



牛卵母细胞



体外受精胚胎

图3-11 牛卵巢、卵母细胞和体外受精胚胎

精子的采集和获能

收集精子的方法有假阴道法、手握法和电刺激法等。

假阴道法是采用仿生学的方法，模仿发情雌性动物阴道环境设计的装置，它能够满足雄性动物交配时对压力、温度和润滑度的要求，同时配有与采精动物相适应的活台

畜或假台畜（图3-12）。使用假台畜时，要训练被采精动物爬跨台畜，并将精液射入假阴道，以便收集。



图3-12 家畜采精用假台畜

生物技术资料卡

收集精子的其他方法——手握法和电刺激法

收集精子除假阴道法外还有手握法和电刺激法。

手握法不需要任何设备，徒手或戴上乳胶手套，直接把握雄性动物的阴茎，给予适当的压力和刺激，就可引起射精。这种方法只适于猪和犬等体型较小，易于控制的家畜。

电刺激法是将动物麻醉后，用特制的电极伸入动物的直肠，直接刺激位于腰荐部的射精中枢神经，引起射精。这种方法多用于野生或经济动物。

在体外受精前，要对精子进行获能处理。通常采用的体外获能方法有培养法和化学诱导法两种：对于啮齿动物、家兔和猪等动物的精子，一般采用培养法，即将取自附睾的精子，放入人工配制的获能液中，培养一段时间后，精子就可获能；对于牛、羊等家畜的精子常采用化学诱导法，即将精子放在一定浓度的肝素或钙离子载体A23187溶液中，用化学药物诱导精子获能。

受精

获能的精子和培养成熟的卵子，一般情况下都可以在获能溶液或专用的受精溶液中完成受精过程（图3-13）。



图3-13 在培养皿中使动物的精子和卵子结合

精子和卵子一般要放在培养液小滴内共同培养一段时间才能完成受精（图3-14）。

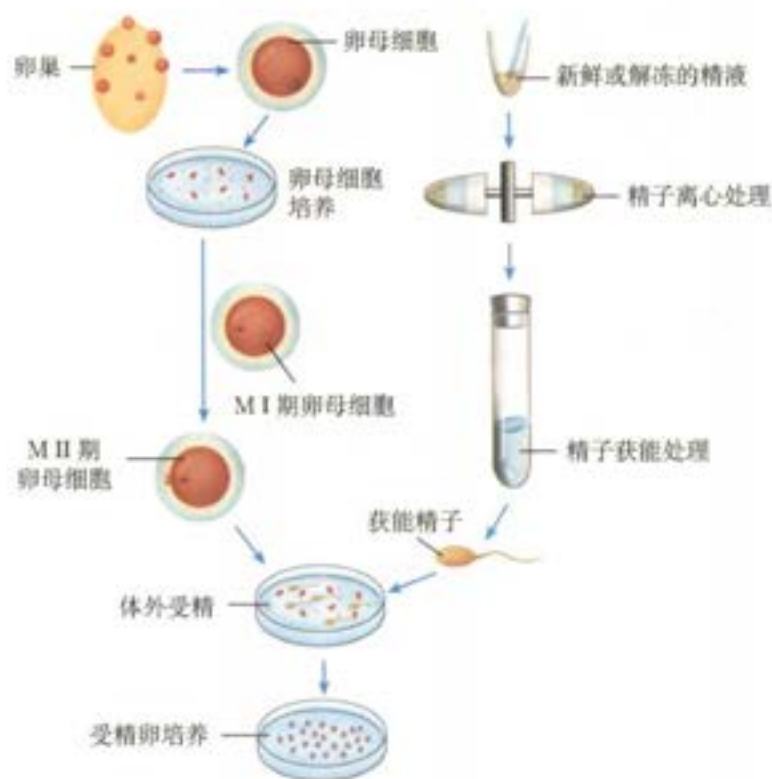


图3-14 哺乳动物体外受精过程示意图

胚胎的早期培养

精子与卵子在体外受精后，应将受精卵移入发育培养液中继续培养，以检查受精状况和受精卵的发育能力。哺乳动物胚胎的培养液成分一般都比较复杂，除一些无机盐和有机盐类外，还需添加维生素、激素、氨基酸、核苷酸等营养成分，以及血清等物质。

当胚胎发育到适宜的阶段时，可将其取出向受体移植，或冷冻保存。

不同动物胚胎移植的时间不同，例如，牛、羊一般要培养到桑椹胚阶段或囊胚阶段才进行移植，小鼠和家兔等实验动物可在更早的阶段移植，人的体外受精胚胎，即试管胚胎，可在8~16个细胞阶段移植。

体外受精技术经过20多年的研究，已经取得很大进展，效率也不断提高，其中以牛的体外受精技术水平最高。目前，从屠宰场废弃的卵巢中，每个卵巢平均可采集10

► 奇思妙想

为充分利用屠宰场废弃卵巢上的卵母细胞，不妨将屠宰场和“胚胎工厂”合建。这样屠宰场的产品就不仅是鲜肉，还会生产出大量的胚胎和胚胎工程所需的原材料，你看这个想法可行吗？

枚可用的卵母细胞，经体外培养成熟和受精后，约可获得4枚可用的胚胎，移植给受体母牛最终可能产下1~2头犊牛。牛体外受精胚胎的工厂化生产已经成为可能（图3-15）。

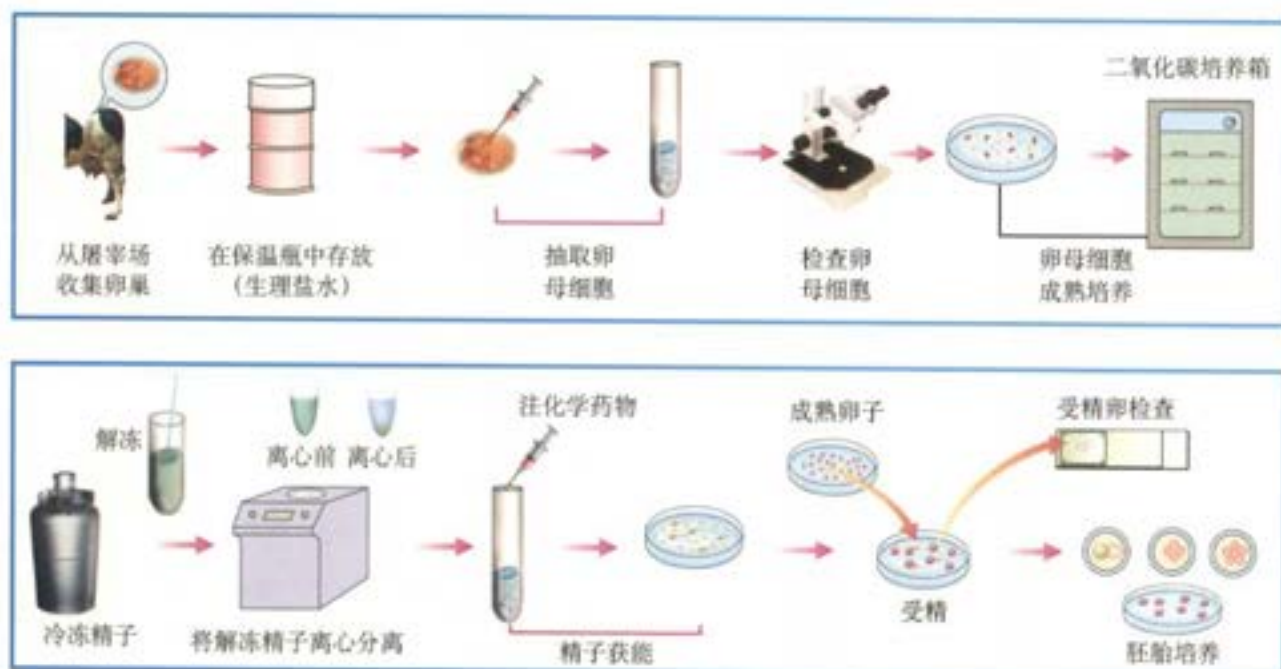


图3-15 牛体外受精胚胎工厂化生产流程图



思考与探究

下面是从互联网看到的我国某良种家畜公司的产品介绍。

(1) 肉牛胚胎工程产业化

从美国、加拿大引进国际一流良种红安格斯肉牛，生产和销售良种肉牛胚胎和冷冻精液（国家发展和改革委员会高科技化示范工程项目，陕西省“十五”重大科技产业化项目，总投资5000万元）。

(2) 奶牛胚胎工程产业化

从美国引进国际一流超高产良种荷斯坦奶牛，生产和销售良种奶牛胚胎和冷冻精液（国家“948”项目，农业部农业科技成果转化项目）。

(3) 肉羊胚胎工程产业化

从澳大利亚和新西兰引进国际一流良种无角道赛特肉用绵羊和布尔肉用山羊，生产和销售良种羊胚胎和冷冻精液（国家“948”项目，

总投资3000万元）。

① 通过这些介绍，你对体外受精和胚胎培养的应用前景有什么认识？

② 看过这些介绍后，你愿意向你的家人或亲友讲一讲试管家畜的事情吗？请你用尽量通俗的语言介绍体外受精和早期胚胎培养的技术。



良种荷斯坦奶牛

3.3 胚胎工程的应用及前景

胚胎工程技术包含的内容很丰富，目前在生产中应用较多的是家畜的胚胎移植、胚胎分割和体外生产胚胎技术。还有多项胚胎工程技术仍在深入研究或小规模试用。

胚胎移植

胚胎移植 (embryo transfer) 是指将雌

性动物体内的早期胚胎，或者通过体外受精及其他方式得到的胚胎，移植到同种的、生理状态相同的其他雌性动物的体内，使之继续发育为新个体的技术 (图 3-16)。其中提供胚胎的个体称为“供体”(donor)，接受胚胎的个体叫“受体”(recipient)。胚胎移

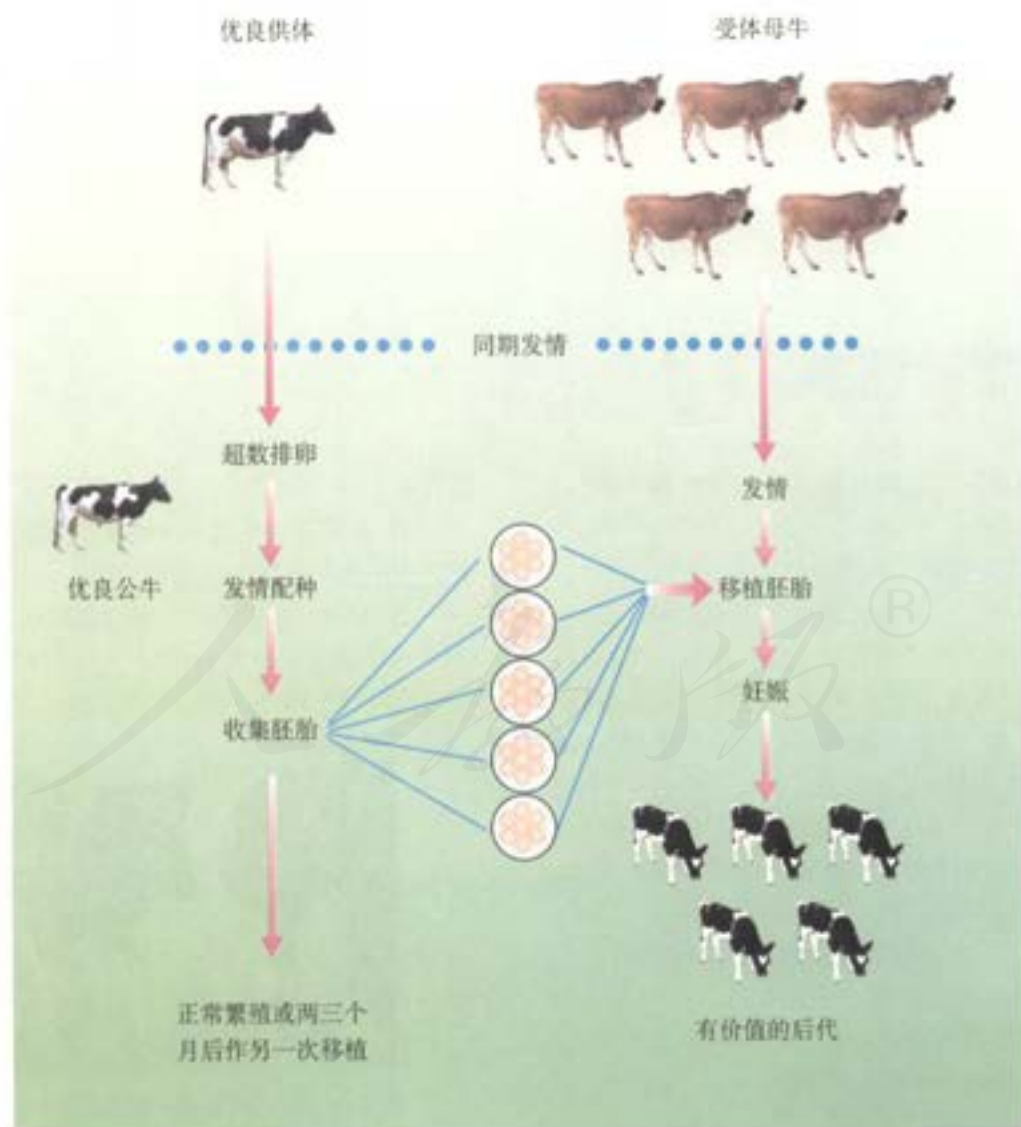


图 3-16 牛胚胎移植示意图

植实际上是生产胚胎的供体和孕育胚胎的受体共同繁殖后代的过程。在胚胎工程中通过任何一项技术,如转基因、核移植,或体外受精等技术获得的胚胎,都必须移植给受体才能获得后代。因此,胚胎移植又是胚胎工程其他技术的最后一道“工序”。

胚胎移植的现状和意义

近20年来,在胚胎移植中,牛的胚胎移植技术较为成熟。以奶牛为例,目前已达到一头供体牛平均每次处理收集到的胚胎,经移植可产下3~4头犊牛,由于每年可处理4~5次,这样,一头良种母牛一年生下的后代可达数十头,远远超过在自然状态下一生所得的后代数量。羊的胚胎移植效率比奶牛还要高。

自20世纪60年代以来,我国兔、绵羊、牛、马和山羊的胚胎移植相继获得成功。近10年来,牛、羊的胚胎移植在我国部分地区已进入生产应用阶段,这些成果大大推动了我国畜牧业的发展。

进行胚胎移植的优势是可以充分发挥雌性优良个体的繁殖潜力(图3-17)。在这项技术中,供体的主要职能变为只产生具有优良遗传特性的胚胎,繁重而漫长的妊娠和育仔的任务由受体取代,这就大大缩短了供体本身

良种畜群迅速扩大,加速了育种工作和品种改良。

在世界范围内,胚胎移植不受时间和地域的限制,大量节省了购买种畜的费用。



在肉用家畜的生产中,一次给受体移入多个胚胎,可增加双胎和多胎的比例。



利用胚胎冷冻保存技术,建立胚胎库,保存品种资源和濒危物种。



图3-17 胚胎移植可充分发挥雌性优良个体的繁殖潜力

小知识

我国现有奶牛600万头左右,每头奶牛年均产奶量只有3 000 kg(有一部分高产奶牛可达7 000 kg以上);我国有黄牛9 000万头。选用高产奶牛做供体生产胚胎,或者从国外引进高产奶牛胚胎,用黄牛做受体进行胚胎移植,生产纯种高产奶牛,是我国当前迅速扩大高产奶牛数量,满足对牛奶需求的有效方法。近几年,我国每年移植奶牛胚胎2万~3万枚,获母犊牛5 000~6 000头。

的繁殖周期。同时,在对供体施行超数排卵处理后,可获得多枚胚胎,经移植可得到多个后代,使供体生产下的后代数是自然繁殖的十几倍到几十倍。

胚胎移植的生理学基础

准备移植的胚胎,移植到任何一头母牛的子宫内都能发育吗?供体与受体之间进行胚胎移植时,会不会发生免疫排斥反应?要解决这些问题都需要对胚胎发育进行生理学方面的研究。

胚胎移植能否成功,与供体和受体的生理状况有关。

第一,哺乳动物发情排卵后,不管是否妊娠,在一段时间内,同种动物的供、受体生殖器官的生理变化是相同的,这就为供体的胚胎移入受体提供了相同的生理环境。第二,哺乳动物的早期胚胎形成后,在一定时间内不会与母体子宫建立组织上的联系,而是处于游离状态,这就为胚胎的收集提供了可能。第三,大量的研究已经证明,受体对移入子宫的外来胚胎基本上不发生免疫排斥反应,这为胚胎在受体内存活提供了可能。第四,供体胚胎可与受体子宫建立正常的生理和组织联系,但移入受体的供体胚胎的遗传特性,在孕育过程中不受任何影响。



讨论

1. 在胚胎移植操作中,怎样才能使胚胎在移植前后所处的生理环境保持一致?例如,供、受体的发情时间要一致吗?供体胚胎移入受体子宫的位置,应与在供体内的位置相同或相似吗?

2. 胚胎移植实质上是早期胚胎在相同生理环境条件下空间位置的转移。你认为这样的概括正确吗?

胚胎移植的基本程序

以家畜的胚胎移植为例,胚胎移植主要包括对供、受体的选择和处理,配种或进行人工授精,对胚胎的收集(图3-18)、检查、培养或保存,对胚胎进行移植,以及移植后的检查等步骤(图3-19)。

与胚胎工程中的其他技术相比,胚胎移植已经是较为成熟的技术,但就目前发展的情况看,还需要进一步简化操作程序。



图3-18 羊的手术冲卵



① 对供、受体母牛进行选择，并用激素进行同期发情处理。



② 用激素对供体母牛做超数排卵处理。



③ 超数排卵的母牛发情后，选择同种优秀的公牛进行配种或人工授精。



④ 胚胎的收集：配种或输精后第7天，用特制的冲卵装置，把供体母牛子宫内的胚胎冲洗出来（也叫冲卵）。



⑤ 冲卵后，对胚胎进行质量检查。这时的胚胎应发育到桑椹胚或囊胚阶段。



⑥ 将收集的胚胎直接向受体移植或放入 -196°C 的液氮中保存。



⑦ 胚胎的移植：(1)手术法：引出受体子宫和卵巢，将胚胎注入子宫角，缝合创口。(2)非手术法：将装有胚胎的移植管送入受体母牛子宫的相应部位，注入胚胎。



⑧ 对受体母牛进行是否妊娠的检查。



⑨ 受体母牛产下胚胎移植的犊牛。

图3-19 牛胚胎移植流程图

在我国，牛和羊的胚胎移植技术已日臻完善和成熟，不久的将来，很有可能成为一项常规的繁殖技术。畜牧业发展和胚胎工程技术研究的不断深入，为胚胎移植的应用提供了广阔的平台。胚胎移植作为胚胎工程的最终技术环节，也将推动胚胎工程其他技术的研究和应用。

胚胎分割

能不能将一个胚胎分割成几份，从而提高胚胎的利用率呢？基于这样的设想，胚胎分割技术逐渐发展和成熟。

胚胎分割 (embryo splitting) 是指采用机械方法将早期胚胎切割成2等份、4等份或8等份等，经移植获得同卵双胞胎或多胎的技术 (图3-20)。来自同一胚胎的后代具有相同的遗传物质，因此，胚胎分割可以看做动物无性繁殖或克隆的方法之一。

发展简史 1978年，科学家将小鼠桑椹胚一分为二，获得了成功。1979年，科学家分割绵羊胚胎获得同卵羔羊。20世纪80年代后，人们建立了系统的胚胎分割方法，并相继得到1/4和1/8分割胚胎的后代。目前，已得到1/2胚胎后代的动物有小鼠、家兔、绵羊、山羊、牛、马和猪等；得到1/4胚胎后代的有家兔、绵羊、猪、牛和马等；得到1/8胚胎后代的有家兔、绵羊和猪等。但目前，仍然以二分胚胎的分割和移植效率最高，已成为提高家畜胚胎利用率的手段之一。



图3-20 切割同卵双驹

近20年来，我国的胚胎工程专家也进行了胚胎分割移植的试验研究，相继成功地对小鼠、家兔、绵羊、山羊和牛等动物进行了分割胚胎移植，并将二分胚分割技术应用到牛和羊的胚胎移植中 (图3-21)。



图3-21 切割同卵双犊和三卵六羔羊

胚胎分割所需要的主要仪器设备为实体显微镜和显微操作仪(图3-22)。

进行胚胎分割时,应选择发育良好、形态正常的桑椹胚或囊胚,将其移入盛有操作液的培养皿中,然后,用分割针或分割刀进行分割。对于不同发育阶段的胚胎,分割的具体操作不完全相同。

具体操作时,用分割针或分割刀片将胚胎切开,吸出其中的半个胚胎,注入预先准备好的空透明带中,或直接将裸半胚移植入受体。在对囊胚阶段的胚胎进行分割时,要注意将内细胞团均等分割,否则会影响分割后胚胎的恢复和进一步发育(图3-23)。



图3-22 显微操作仪(上)和实体显微镜(下)



在显微镜下
切割胚胎

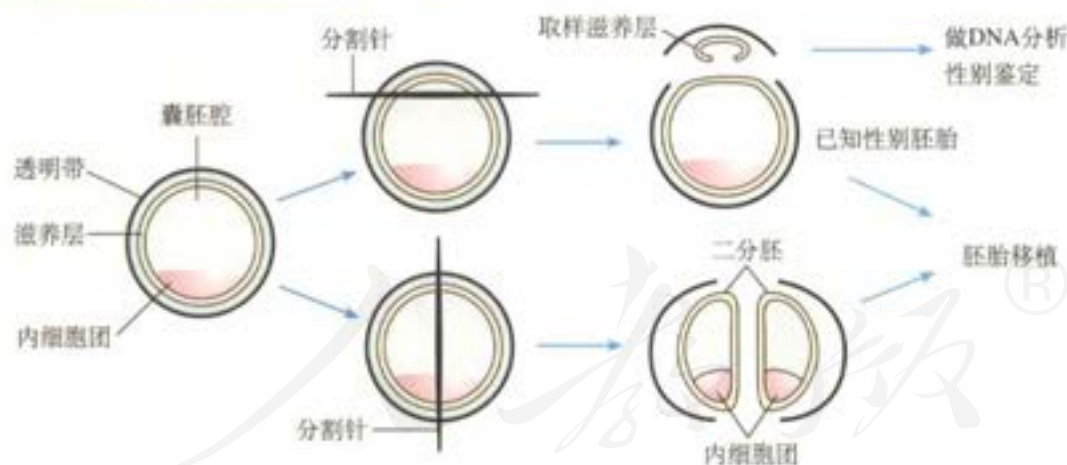


图3-23 牛胚胎性别鉴定和分割示意图

尽管胚胎分割技术已在多种动物中取得成功,但仍存在一些问题,如刚出生的动物体重偏低,毛色和斑纹上还存在差异等。实践证明,采用胚胎分割技术产生同卵多胚的可能性是有限的,到目前为止,最常见的是经分割产生的同卵双胞胎,而同卵多胎成功的比例都很小。



对囊胚阶段的胚胎进行分割时,为什么要将内细胞团均等分割?

胚胎干细胞

哺乳动物的胚胎干细胞(embryonic stem cell)简称ES或EK细胞,是由早期胚胎或原始性腺中分离出来的一类细胞。ES细胞具有胚胎细胞的特性,在形态上,表现为体积小、细胞核大、核仁明显;在功能上,具有发育的全能性,即可以分化为成年动物体内任何一种组织细胞(图3-24)。另外,在体外培养的条件下,ES细胞可以增殖而不发生分化。对它可以进行冷冻保存,也可进行遗传改造。

ES细胞的分离和培养成功是胚胎工程中的重大成就之一,在基础生物学、畜牧学和医学上都具有十分重要的应用价值。

ES细胞可以用于治疗人类的某些顽症。人类由于细胞坏死、退化或功能异常引起的疾病,如帕金森综合征、少年糖尿病和老年痴呆症等,已成为医学上尚未攻克的顽症。利用ES细胞可以被诱导分化形成新的组织

细胞的特性,移植ES细胞可使坏死或退化的部位得以修复并恢复正常功能。目前,在动物实验方面,用ES细胞诱导分化出的某些组织细胞已成功地治愈糖尿病、肝衰竭、心衰竭和成骨不良等疑难病症。也许在不久的将来,当我们的身体某一类细胞功能出现异常或退化时,就可以通过诱导ES细胞定向分化来及时修补。

随着组织工程技术的发展,通过ES细胞体外诱导分化,还可以培育出人造组织器官,解决目前临床上存在的供体器官不足和器官移植后免疫排斥的问题。

ES细胞也是研究体外细胞分化的理想材料。ES细胞在饲养层细胞^①,或在添加抑制因子的培养液中,能够维持不分化的状态。在培养液中加入分化诱导因子,如牛磺酸、丁酰环腺苷酸等化学物质时,就可以诱导ES细胞向不同类型的组织细胞分化,这为揭示细胞分化和细胞凋亡的机理提供了有

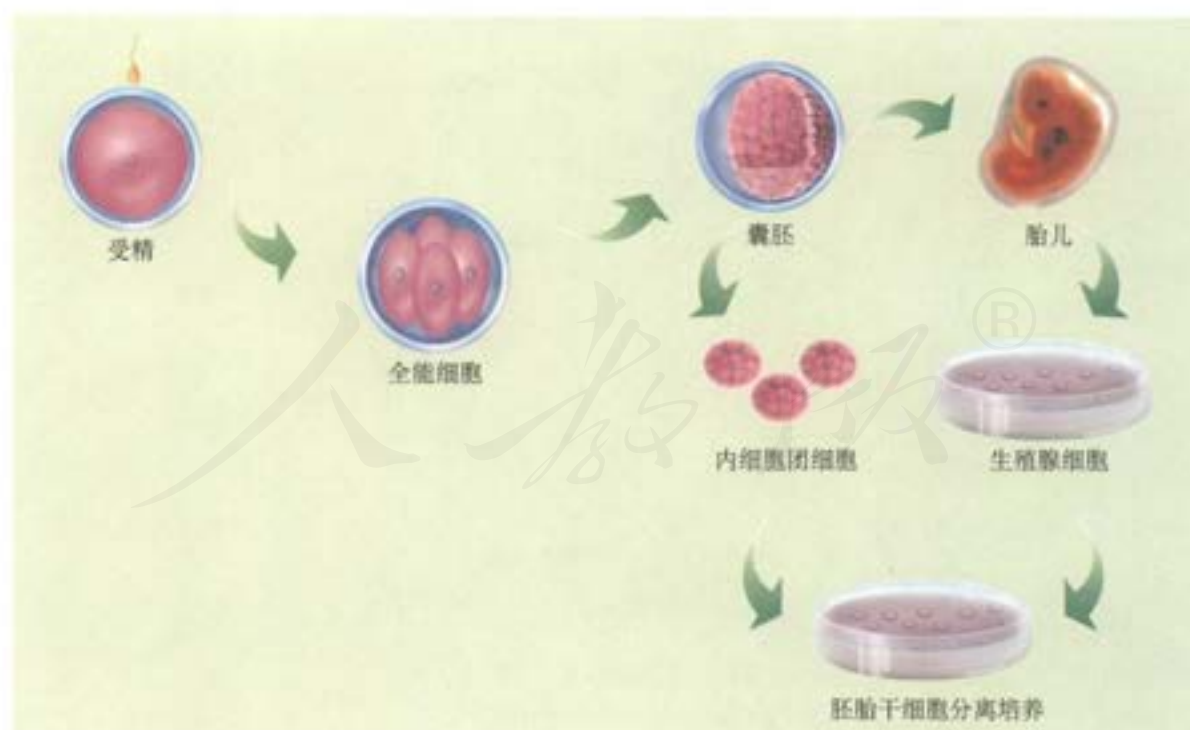


图3-24 胚胎干细胞分离途径示意图

^① 饲养层细胞一般为输卵管上皮细胞,在干细胞培养时,可作为提供干细胞分裂、增殖的营养细胞。

效的手段。

胚胎干细胞还可用于对哺乳动物个体发生和发育规律的研究。由于ES细胞可分化为胚胎的内胚层、中胚层和外胚层中任何一类细胞,于是可以将带有遗传标记的ES细胞注入早期胚胎的囊胚腔,通过组织化学染色,了解ES细胞的分化特点,这就为研究胚胎发育过程中的细胞分化及组织和器官形成的规律,进而研究动物体器官形成的时

间、发育过程以及影响的因素等提供了可能。

ES细胞的应用前景吸引着众多科学家投入到这一领域的研究中。目前,ES细胞的分离、培养体系的研究,以及ES细胞的选择、检测和全能性的维持,不仅是胚胎工程的前沿课题之一,也是当前生命科学研究的前沿课题之一。



思考与探究

1. 右图是同学们到某良种场进行参观时,看到的胚胎移植繁育良种奶牛的技术流程示意图。请看图思考并讨论以下各题。

(1) 用文字完成右侧的流程图。

(2) 应该怎样选择供体公、母牛和受体母牛? 在②中,为什么要用促性腺激素处理供体母牛? 在促性腺激素处理供体母牛前,需要对供体和受体母牛进行同期处理吗?

(3) 在右侧的流程图中,哪一步需要进行冲卵? 冲卵是把母牛的卵子冲出来吗?

(4) 用胚胎移植繁育良种种畜具有哪些实用意义?

2. 荷斯坦奶牛是世界上产奶量最高的奶牛品种之一。某良种公司引进了纯种荷斯坦奶牛,并用胚胎分割的技术繁育出了荷斯坦良种奶牛群体。如果你是一名科技专栏的记者,现在需要写一篇关于用胚胎分割技术繁育良种奶牛的报道。请写出你准备向胚胎专家提出的三

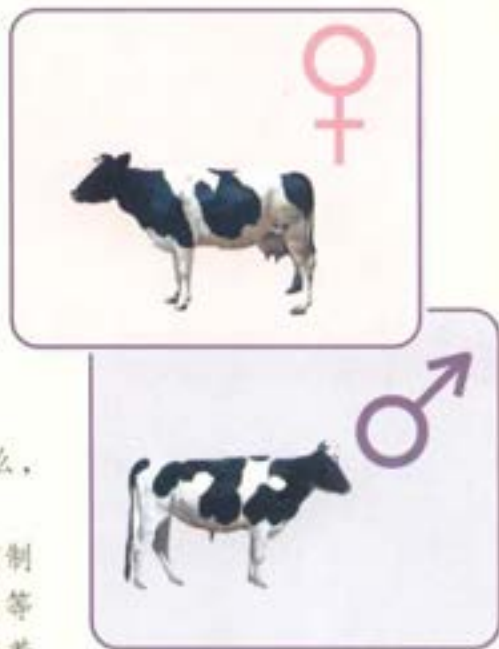


个问题,然后再以访谈录的形式回答这三个问题(回答不出的问题可通过网络、书籍或向专家请教等方式解决)。



话说哺乳动物的性别控制

当你用战神的矛和盾“♂”来表示哺乳动物的雄性，用爱神的镜子“♀”来表示哺乳动物的雌性的时候，是否想到过让哺乳动物按照人的意愿生产所需性别的后代？的确，这是人们由来已久的愿望。因为控制哺乳动物的性别对于畜牧生产有着十分重要的意义。例如，对奶牛、奶山羊等以产奶作为主要生产性状的家畜，人们希望多生母畜；而对于肉用牛、羊和毛用牛、羊等，人们又希望多生公畜（肉用和毛用牛、羊的雄性生产性能明显高于雌性）。那么，人们是如何控制哺乳动物性别的呢？



早期研究者们试图采用物理或化学的方法控制家畜的性别，但这种探索多因效率低、重复性差等原因，难以在生产实际中应用。20世纪以来，随着细胞和分子生物学技术的迅速发展，以及人们对精子、卵子和胚胎认识的不断加深，一些新的控制性别的方法相继出现，其中，具有应用价值的两项技术是“X精子与Y精子的分离技术”和SRY—PCR胚胎性别鉴定技术。

X精子与Y精子的分离技术

我们已经知道哺乳动物的精子中所含的性染色体有X和Y两种，它们各占50%；而卵子的性染色体只有X一种。当含Y的精子（简称Y精子）与卵子结合时，受精卵将发育为雄性；当含X的精子（简称X精子）与卵子结合时，受精卵将发育为雌性。因此，在畜牧业生产中，如果能把X精子和Y精子分开，并分别用X精子或Y精子给母畜输精（或进行体外受精），就会得到已知性别的胚胎或后代。那么，怎样将X精子和Y精子分开呢？

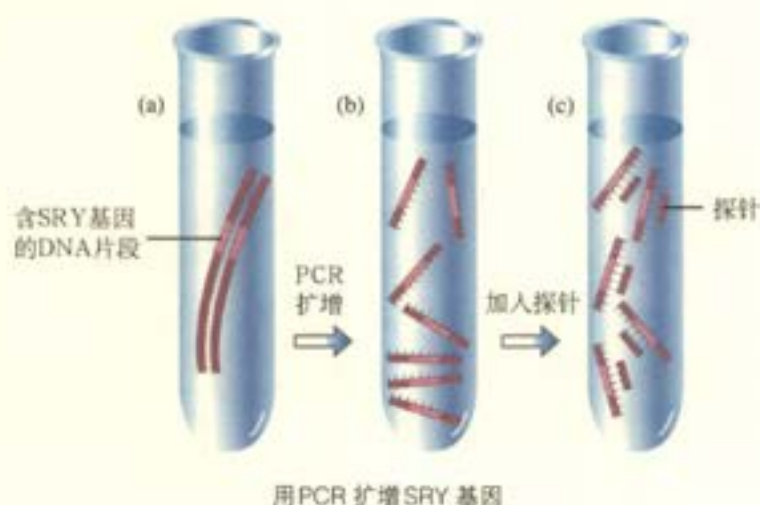
经过大量的研究发现，X精子的DNA含量比Y精子高出4%左右。根据这一差异，科技人员采用一种能够对流动的细胞进行分类检测的仪器，对X精子和Y精子进行分离，其准确率可超过90%。随着分离技术的发展，分离效率也逐步提高。以奶牛的精子分离为例，目前已能够做到每台仪器、每小时可分离X精子和Y精子各1000万个。如果每天开机20小时，那么，X精子和Y精子的日产量就可以分别达2亿个。用这些分离的精子去做母牛的人工授精或体外受精，可得到理想性别的胚胎或犊牛。

由于采用母牛人工授精，每次输精的最低精子数都在1000万个以上，因此，目前的分离速度尚显太慢；同时，由于分离的时间较长，也会造成精子在生存和受精能力上有不同程度的降低，因此，进一步改进仪器的分离速度，简化分离程序，已成为目前精

子分离技术在畜牧生产中应用和推广的关键。

SRY—PCR 胚胎的性别鉴定技术

对移植前的胚胎进行性别鉴定,然后移入受体,同样可以控制后代的性别,只不过这种控制是在精子和卵子受精后,胚胎本身已经有了性别的前提下进行的。目前最有应用前景的方法是 SRY—PCR 法。它是利用分子生物学的原理建立起来的一种方法,也是现阶段进行胚胎性别鉴定最准确和最有效的方法。操作的基本程序是:先从被测胚胎中取出几个细胞,提取 DNA,然后用位于 Y 染色体上的性别决定基因,即 SRY 基因的一段碱基作引物,用胚胎细胞中的 DNA 为模板,进行 PCR 扩增,最后用 SRY 特异性探针对待扩增产物进行检测。出现阳性反应者,胚胎为雄性;出现阴性反应者,胚胎为雌性。这种方法准确率高达 90% 以上。采用这种方法的优点是:取样少,检测时间短,对胚胎损伤小,在生产上应用方便等,因此,具有很高的应用价值。虽然这种方法目前还存在一些问题,如由于灵敏度高,容易因污染而出现假阳性的结果,但作为一种先进的技术,它为动物性别的人工控制展示了可喜的前景。



进展追踪

通过报纸、杂志、互联网或其他媒体搜集资料,了解胚胎工程的新进展,就自己感兴趣的方面,自定选题,写一篇专题综述报告。

参考选题:1. 体外受精的新技术;
2. 我国畜牧业中胚胎移植的推广情况;
3. 胚胎工程与畜牧业发展;4. 胚胎干细胞研究进展。

专题小结

哺乳动物在自然条件下,配子的发生、受精和早期胚胎的发育规律是胚胎工程的理论基础。体外受精和早期胚胎培养是人们模拟自然情况经反复探索得到的技术方法。

体外受精技术不仅可以为胚胎工程提供实验的原材料,也是胚胎工程关键的技术环节之一。胚胎移植在畜牧生产中已经显示出大幅度提高供体母畜繁殖力的作用,它又是胚胎工程技术的终端

环节,即任何胚胎只有移植给受体才能获得后代。当前,胚胎工程研究的领域不断扩大,内容不断丰富,技术不断改进,效率也在逐步提高。经不同技术操作产生的具有不同遗传特性的胚胎,通过移植产生的后代,将不断向人们提供所需要的目的产品,为人类的生产、生活、医疗、卫生和健康服务。我们期待着更多的胚胎工程技术走出实验室,进入生产应用领域。



书海导航

1. 家畜繁殖学。张忠诚主编,北京:中国农业出版社,2000年(第三版)。
2. 受精生物学。陈大元主编,北京:科学出版社,2000年。
3. 家畜胚胎工程。郭志勤主编,北京:中国科学技术出版社,1998年。

人教版®



你会选择转基因食品吗?



为什么应当禁止克隆人?

1953年,当沃森、克里克构建的DNA双螺旋结构模型,成功地将生命本质还原到分子水平来认识时,人类就庄严地宣告了生命科学进入了分子生物学时代。20世纪70年代以后,以基因工程为代表的一大批生物技术成果,进入人类的生产和生活,特别是在医药和农业生产上发挥了极大的作用。今天,人类可以利用分子遗传学等方面的知识和技术,把改造生命的幻想变成现实,传统的生命观受到了生命科学新观念的强劲冲击。与其他科学技术一样,生物技术就像一把“双刃剑”:它既可以造福人类,也可能在使用不当时给人类带来潜在的危害。面对生物技术可能产生的负面影响,公众不可避免地产生了疑虑,再加上媒体宣传的放大效应,一些公众产生了焦虑的情绪和过激的反应,这反过来又影响到生物技术的正常发展和应用。

当今世界,国力的竞争主要表现为科学技术的竞争。为了争夺科学技术的制高点,我们应该积极地面对这些伦理争论,绝不能一味回避。当然,在这些争论中,科学家起着至关重要的作用。他们除了要对自己的科学研究行为负责,还应该对社会负责,即利用他们特殊的知识背景和权威性,向公众传播正确的科学知识,以引导公众理性地、负责任地参加讨论。大多数公众的认识一旦取得共识,便有了立法的基础。而法律和法规又是规范生物技术研究、防止生物技术滥用的有力武器。由于我国政治、经济、宗教信仰和传统伦理道德观念等有别于西方,因此我国对生物技术制定的法律和法规,必须要符合自己的国情。这就是我们今天要讨论生物技术的安全性和伦理问题的原因。

4.1 转基因产品的安全性

人们对转基因生物安全性的关注，随着转基因成果的不断涌现而与日俱增。

转基因成果令人叹为观止

对微生物的基因改造是基因工程中研究最早、最广泛和取得实际应用成果最多的领域，这是因为微生物具有生理结构和遗传物质简单、生长繁殖快、对环境因素敏感和容易进行遗传物质操作等优点。例如，转基因技术已被用来减少啤酒酵母双乙酰（一种啤酒发酵过程中的产物，它的浓度过高会影响啤酒的风味和口感）的生成，缩短啤酒的发酵周期；用基因工程技术构建高产、优质的基因工程菌来生产氨基酸，是目前工业化生产氨基酸的重要途径；用基因工程菌生产药物同样引人注目，开发成功的基因工程药物已经几乎涉及各种类型疾病的治疗。2014年，全世界包括基因工程药物在内的生物技术药物的销售额达1.2万亿元。

转基因动物也有很多成功的例子。科学家将生长激素基因、促生长激素释放激素基因等转入动物体内，培育了一批生长迅速、营养品质优良的转基因家禽、家畜；将某些抗病毒的基因导入动物体内，培育了抵抗相应病毒的药物新品种；建立了某些人类疾病的转基因动物模型，模拟疾病的发生和发展过程，为研究该疾病的致病机制和开发治疗药物提供依据，如转基因小鼠1型糖尿病模型、转基因小鼠原发性高血压模型等。

转基因植物的研究成果同样令人兴奋。目前，科学家已经培育出了大批具有抗虫、抗病、抗除草剂和耐储藏等新性状的作物。以转基因耐储藏番茄为例，科学家利用转基因技术显著抑制番茄中乙烯形成酶的活性和乙烯的生成量，从而育成了转基因耐储藏番茄（图4-1）。2017年，全世界种植转基因作物的国家已达24个。种植面积排名前十位的国家为美国、巴西、阿根廷、加拿



图4-1 转基因耐储藏番茄（右上）和普通番茄（左下）

大、印度、巴拉圭、巴基斯坦、中国、南非和玻利维亚，这些国家转基因作物的种植面积都超过了 $1 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (图4-2)。种植的转基因作物中大豆和玉米最多，其次是棉花和油菜。我国批准发放了转基因棉花、番木瓜、水稻和玉米等作物的生产应用安全证书，但截至2017年，只有转基因棉花和番木瓜获准商业化种植。我国还批准发放了转基因棉花、大豆、玉米、油菜、甜菜的进口安全证书，但我国进口的基本上是转基因棉花的纤维，还有这几种作物在国外的直接加工产品。

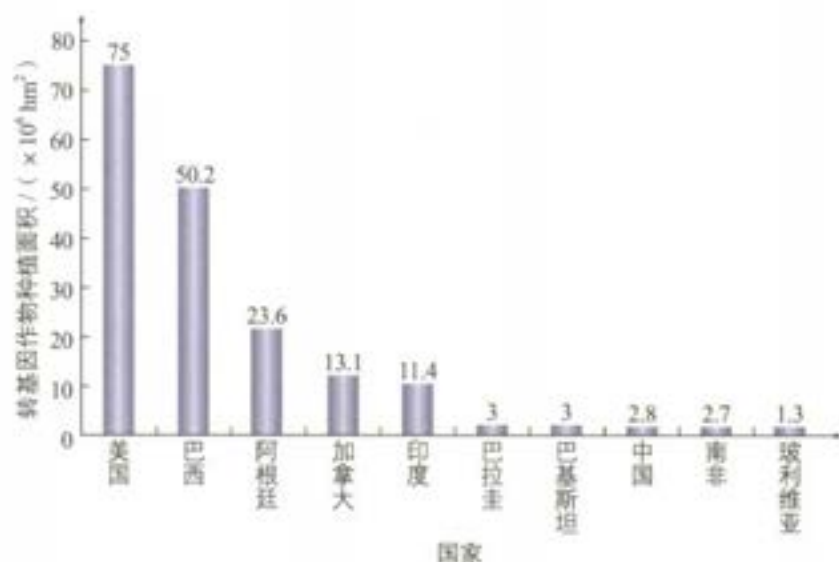


图4-2 全世界排名前十位的种植转基因作物的国家种植转基因作物的面积

► 小资料

在转基因研究工作中，科学家会采取很多方法防止基因污染。例如，我国科学家将来自玉米的 α -淀粉酶基因与目的基因一起转入植物中，由于 α -淀粉酶基因可以阻断淀粉储藏使花粉失去活性，因而可以防止转基因花粉的传播。

硕果累累的转基因成果在带给人们喜悦的同时，也促使人们关注转基因生物的安全性问题。实际上，转基因技术及其应用就是伴随着质疑、担忧甚至反对的声音而不断发展的。

对转基因产品安全性的争论

子曰：“君子和而不同，小人同而不和。”“和而不同”是指：君子要和睦相处，但不随便附和。

当人们面对原本是自然造就的生命形式被人为改造后具有了全新特征的现实时，出现激烈的争论是正常的。人们所生活的国家或社会，政治制度、意识形态、宗教信仰、经济发展水平、历史背景、传统文化和伦理道德观念等的差异，决定了人们具有不同的价值取向，因此对于转基因技术就会产生不同的见解，特别是在转基因食品的安全性等方面发生激烈的争论。



辩论会

转基因食品是否安全？

辩论目的：通过辩论使不同的意见能在一个共同的平台上“殊途同归”，形成共识，以正确的态度看待转基因食品的安全性。

辩论方式：设辩论正反方；或者角色扮演，如扮演政府官员、科学家、食品供应商和消费者等，扮演者从各自角度出发，发表不同的意见。

辩论前的准备：辩论的正反方或者角色扮演者，分别搜集不同国家或地区转基因生物研发和安全评估、转基因食品销售等方面的资料，以及我国有关转基因生物研究和商品化的法规和政策。在搜集资料的过程中，一定要注意区分谣言与事实，区分事实与观点；要舍弃矛盾的、不充分的证据，寻找确凿的证据。

辩论时的注意事项：要精准地运用证据为自己辩护；要排除无关因素的影响，有序地呈现具有说服力的证据；要进行符合逻辑的推理判断；要避免得出言过其实的结论；同时，还要善于洞察对方论证的陷阱和漏洞，如识别论证中的逻辑错误等。辩论时，切忌进行人身攻击。

理性看待转基因技术

转基因作为一项技术本身是中性的，由这项技术研发出来的产品需要经过一系列的安全性评价，符合相应标准后才能上市。理性看待转基因技术不是人云亦云，更不是诋毁科学创新、造谣惑众，而是需要建立在完备的科学知识基础之上，即清晰地了解转基因技术的原理和操作规程；还应该看到人们的观点受到许多复杂的政治、经济和文化等因素的影响；最重要的是，要靠确凿的证据和严谨的逻辑进行思考和辩论。社会舆论导向正确了，往往有利于决策者作出正确的决策，从而促进科学技术的发展；相反，社会舆论导向不正确，将可能阻碍科学技术的发展。

针对转基因技术，各个国家都制定了符合本国利益的法规和政策。我国对转基因技术的方针是一贯的、明确的，就是研究上要大胆，坚持自主创新；推广上要慎重，做到确保安全；管理上要严格，坚持依法监管。国务院颁布了《农业转基因生物安全管理条例》（图4-3）；国家有关部门制定实施了《农业转基因生物安全评价管理办法》



图4-3 《农业转基因生物安全管理条例》节选

《农业转基因生物进口安全管理办法》《农业转基因生物标识管理办法》《农业转基因生物加工审批办法》和《进出口转基因产品检验检疫管理办法》。这些法规的制定既维护了消费者对转基因产品的知情权和选择权，又最大程度地保证了转基因技术和已经上市

的转基因产品的安全性。我国还成立了专门的国家农业转基因生物安全委员会，这是我国农业转基因生物安全管理权威的评价机构，为保障农业转基因生物安全提供重要的技术支撑。



生物技术资料卡

农业转基因生物的标识管理



为了加强对农业转基因生物的标识管理，规范农业转基因生物的销售行为，引导农业转基因生物的生产和消费，保护消费者的知情权，我国对农业转基因生物实行了标识制度。标识的标注方法如下（摘自《农业转基因生物标识管理办法》）。



(1) 转基因动植物（含种子、种畜禽、水产苗种）和微生物、转基因动植物、微生物产品，含有转基因动植物、微生物或者其产品成分的种子、种畜禽、水产苗种、农药、兽药、肥料和添加剂等产品，直接标注“转基因××”。



(2) 转基因农产品的直接加工品，标注为“转基因××加工品（制成品）”或者“加工原料为转基因××”。



(3) 用农业转基因生物或用含有农业转基因生物成分的产品加工制成的产品，但最终销售产品中已不再含有或检测不出转基因成分的产品，标注为“本产品为转基因××加工制成，但本产品中已不再含有转基因成分”或者标注为“本产品加工原料中有转基因××，但本产品中已不再含有转基因成分”。



社会调查

去当地农村或市场，围绕以下问题进行调查。

1. 这些用转基因技术生产的产品，它们的标识符合国家的规定吗？

2. 是否有商家利用公众对转基因食品“恐惧”的心理，把“非转基因”作为推销的噱头？

请根据调查的结果，并结合所学的知识，提出自己参与转基因知识科普服务的行动计划。



4.2 关注生物技术的伦理问题

生物技术革命的浪潮席卷全球，不仅带来巨大的社会效益和经济效益，而且也对人们传统的观念造成极大冲击，在持有不同价值观的人群中引起了激烈的争论。公众期望通过这种争论，能够在新的时代背景下调节人与人、人与自然之间的关系，使大多数公众的价值观能在本国的道德规则和法律、法规中得到体现。

与生物技术有关的伦理问题很多，下面仅选其中两个热点问题，供大家讨论。要知道，每个人都是社会的成员，都处于同样的时代背景下，面临着许多共同问题。参与这些公众事务和问题的讨论具有重要意义。

小知识

为了更好地研究和处理人类基因组研究可能带来的问题，“人类基因组计划”专门成立了伦理学委员会。

我国卫生部成立了专门研究生命伦理学的机构——“医学伦理学专家委员会”。



热点问题讨论 1

你支持设计试管婴儿吗？

背景资料

20世纪90年代中期，在美国加利福尼亚州，有一名19岁的姑娘安妮莎患了白血病，需要进行骨髓移植。然而，安妮莎唯一的哥哥的骨髓配型并不适合于她，同时在骨髓库中也找不到与她配型合适的骨髓。在人们十分焦急的时候，安妮莎父母突发奇想：再生一个配型合适的孩子为安妮莎提供骨髓。然后，他们通过设计试管婴儿（植入前对胚胎进行遗传学诊断），如愿以偿地生下了一个配型适合于安妮莎的女婴，等这个女婴出生两个月后，就抽取其骨髓造血干细胞，移植给安妮莎，结果使安妮莎得救了。2000年9月，又有一位名叫玛尼的女孩患上了一种致命的贫血病，需要进行造血干细胞移植，这个女孩的父母也通过设计试管婴儿的办法，生下了一位名叫安蒂姆的男婴，医生用其脐带血中造血干细胞挽救了玛尼的生命。2002年初，英国一位名叫扎因·哈什米的3岁孩患上了地中海贫血症，他的父母也是通过



中国大陆第一例试管婴儿与她的缔造者张丽珠教授

你知道中国大陆第一例试管婴儿是在什么时候出生的吗？

为解决不孕夫妇的生育问题而出
现的试管婴儿，与本文所说
“设计试管婴儿”有什么区别？



设计试管婴儿办法，用新生儿脐带血中的造血干细胞挽救了扎因的生命。当该消息公布之后，马上又有6对夫妇提出类似申请，等待审批；另有10对夫妇对这种方法进行了咨询。

争论焦点

用设计试管婴儿的办法救治自己的孩子，是否合乎伦理道德？对此人们持有不同的见解：有人认为这是把试管婴儿当作人体零配件工厂，是对生命的不尊重；而那些配型不合适的胚胎又将如何处理？他们认为早期的生命也有活下去的权利，抛弃或杀死多余胚胎，无异于“谋杀”。但是，大部分人则认为，设计试管婴儿是符合人类伦理道德的，因为这是父母出于强烈的爱子之心，千方百计地救治自己孩子的行为；同时也是救治患者最好、最快捷的办法之一；提供骨髓中造血干细胞并不会对试管婴儿造成损伤，这样能够使两个孩子都同时存活下来，是两全其美的行为，是不违背伦理道德的。至于脐带血，那更是“身外之物”了，把它利用起来不是更符合伦理道德吗？当然，社会应该注意防止有人滥用设计试管婴儿技术，例如，将此技术用于设计婴儿性别等。

2003年7月，中国卫生部在《体外受精—胚胎移植及其衍生技术规范》中规定，“实施体外受精—胚胎移植及其衍生技术必须获得卫生部的批准证书”，而“植入前胚胎遗传学诊断技术”就包括在“衍生技术”之中。

讨论

1. 你是否支持设计试管婴儿？为什么？
2. 请上网或通过其他途径查询：为什么捐出一部分骨髓（造血干细胞）救治他人，不会给捐献者的身体健康造成损伤？你愿意为救人一命而捐献一部分骨髓吗？



你要一张基因“身份证”吗？

在人类基因组研究过程中，科学家鉴定出了一大批致病基因和易感基因，它们在医学上有重要的应用价值。因为有许多疑难疾病都可以在基因上找到原因，因此有人就设想如果把每个人的致病基因和易感基因都检测出来，并记录在磁卡上，做一张个人基因身份证，这样到医院看病时，只要带上这种身份证，医生就可以“对证”治疗。2003年，我国有人宣布制作出了第一张记录有个人某些基因资讯的“身份证”。但是，应该看到的是：基因不是疾病的唯一决定者，并且基因身份证负面的影响是对个人隐私权提出挑战，为此引发了基因检测是否必要的争论。有人质疑：我们是不是正在亲手制造21世纪的“基因贱民”呢？



记录某些基因资讯的“身份证”

背景资料

人类基因组计划自1990年启动至1993年，在短短的3年里，科学家就发现了26种遗传病基因和一些与癌症相关的基因，如儿童哮喘、幼儿型糖尿病，以及乳腺癌、皮肤癌、肾癌、肠癌等基因。在一系列致病基因被发现之后，科学家就主张在人群中对这些致病基因进行筛检，以使携带有致病基因者能及早地采取相应的预防措施。为此，1994年美国率先在人群中开展了肠癌基因的筛检；1995年英国也开始实施基因筛检制度，将目标主要集中在结肠癌、乳腺癌和老年性痴呆等基因的检测上。由于很多疾病是由多个基因决定的，检测起来十分困难，因此科学家改用测定其基因表达产物——蛋白质的方法来达到目的。近年来，生物芯片的广泛应用，使基因及其表达产物的检测更加快速、简便。

在北京，近年也开展过在人群中筛检某些早期癌症的试验。在一张蛋白质芯片上，一次便可筛检10种癌，并可让40多人同时进行检测。但是始

你愿意现在就知道自己有哪些致病基因吗？



基因隐私成为婚姻的障碍

料不及的是，基因筛检却给受检者在人寿保险、信贷、就业、婚姻、人际关系等诸多方面，带来了令人难以承受的歧视和巨大的心理压力。

● 在某些国家，人寿和健康保险公司对投保人基因资讯表现出了特有的兴趣，也是最早出现基因歧视的行业。当他们通过各种途径获取个人基因资讯后，就把它作为是否拒绝投保、限制投保险种、提高保费或更改已签保单的依据。而对于在有效投保期内患了遗传性疾病的人，他们就以该病是由早已存在致病基因所致，不在理赔时限之内为依据，而拒绝赔付。

● 美国某铁路公司曾从部分雇员身上采集血样，然后进行基因缺陷检测，以检测结果作为雇用与否的依据。

● 1997年某国有些公司利用个人基因资讯决定是否聘用就业申请者。他们也要淘汰掉因为基因原因，将来不能为他们高效率工作、但还没患病的准病人；或者是在职工因环境污染或其他原因而患病时，雇主可以说这是由雇员本身基因所致，与雇主无关，而将患病的雇员推向社会。

● 在某些国家信贷行业也出现不愿把钱贷给“基因不良分子”的事例。



个人基因资讯决定是否聘用就业申请者

争论焦点

一部分人认为，完全没有必要进行基因检测，理由如下。

● 目前人类对基因结构及基因间的相互作用尚缺乏足够的认识，要想通过基因检测达到预防疾病的目的是困难的；况且人类的多基因病，既与基因有关，又与环境和生活习惯有关；有某种致病基因的人不见得就会患病。而且有的患者基因是正常的，仅仅只是因为基因表达的蛋白质，在加工或修饰过程中出现错误，才表现出症状。但是，基因检测结果本身就已经足以给受检者带来巨大的心理压力。况且许多遗传性疾病至今还没有有效的治疗办法。因此，有人说：我们不要这种基因知情权。



● 个人基因资讯的泄露所造成的基因歧视，已经在社会上出现了。用人单位的基因歧视，势必造成一支奇特的失业大军，即遗传性失业大军。个人基因资讯被暴露之后，还会造成个人婚姻困难、人际关系疏远等严重后果。

但是，支持基因检测的人有如下理由。

● 虽然基因不是决定一切的，但是有一些遗传性疾病在后代中复现率很高，通过基因检测可以及早采取预防措施，适时进行治疗，达到挽救患者生命的目的。例如，家族性多发性结肠息肉，在早发现并进行切除手术后，可以达到预防息肉组织癌变的目的。至于说检测结果是否会给受检者带来难以解除的压力，可以通过如下事例得以了解：20 世纪 70 年代，在美国曾进行过上千例家族性黑蒙痴呆病基因筛检，被检出带有致病基因的人，平均在 8 个月后不安的心理就会消失；怀孕者进行了选择性流产；据调查，82% 的致病基因携带者支持基因筛检，超过 3 成的人认为受检是公民的义务。

● 对于基因歧视现象，可以通过正确的科学知识传播、伦理道德教育和立法得以解决。例如，当美国某铁路公司对雇员采取基因歧视措施后，2001 年，美国公平就业机会委员会就把该公司告上法庭，要求停止这种基因检测。随后，在美国有 22 个州通过了禁止使用基因检测决定雇人的法案。目前，许多国家都准备在宪法中写上有关保护个人遗传信息隐私权的条款；或者在公民权利法中写明禁止保险业、信贷业等使用个人遗传信息等事项。

讨论

1. 你愿意获得一张自己的基因身份证吗？为什么？
2. 假如你已拥有自己的基因身份证，你将怎样使用它？



4.3 禁止生物武器

生物武器种类包括致病菌、病毒（图4-4）、生化毒剂，以及经过基因重组的致病菌等。把这些病原体直接或者通过食物、生活必需品等散布到敌方，可以对军队和平民造成大规模杀伤后果。

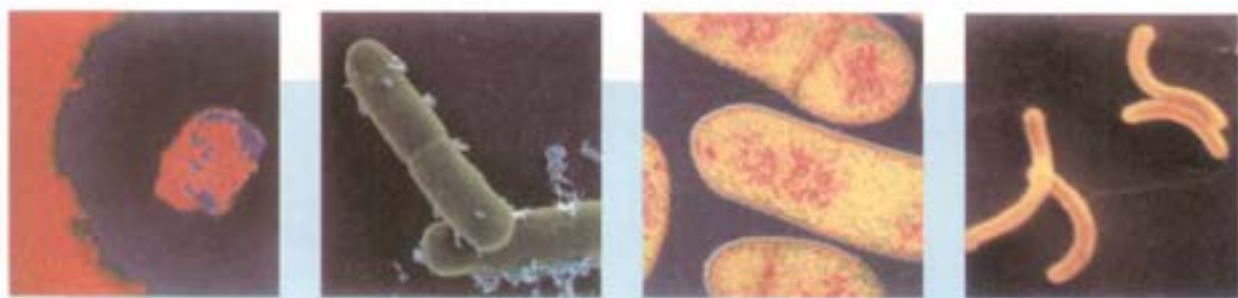


图4-4 能充当生物武器的病原体：天花病毒、炭疽杆菌、波特淋菌和霍乱弧菌

早在第二次世界大战中，侵华日军就组建了从事细菌战的731部队和100部队，并在中国领土上修建了几十座细菌武器工厂，大量培养鼠疫、霍乱、伤寒、炭疽和菌痢等一系列能使人致命的传染性疾病的病菌。为了检验生产出来的细菌武器的效能，侵华日军曾用数千名中国人做实验。侵华日军还曾在中国20多个地区使用了细菌武器，造成几十万中国老百姓死亡。日本战败投降时，侵华日军又一次把培养的细菌释放出来，在中国造成传染病大流行。侵华日军的种种暴行遭到国际舆论的一致谴责。

第二次世界大战后，某些国家仍然在大力发展细菌武器、生化毒剂，例如大量生产、储存传染性极强、造成感染者死亡率极高的炭疽杆菌（图4-5）。据报道，只要有0.001 mg炭疽杆菌就能引发炭疽病。又如，某些国家或恐怖组织大量生产肉毒杆菌毒素。肉毒杆菌毒素分子可以阻滞神经末梢释放乙酰胆碱而引起肌肉麻痹。据报道，只要有0.01 mg的肉毒杆菌毒素就可使人致死，这也是某些国家或者恐怖组织对肉毒杆菌毒素感兴趣的原因。1978年天花就已经在

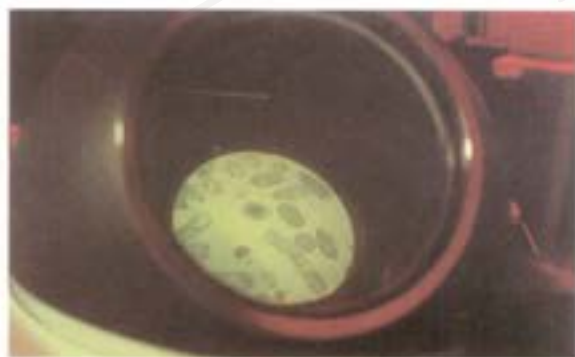


图4-5 电镜下观察到的炭疽杆菌

地球上被消灭了，但是某些国家至今仍然保存着天花病毒毒株。今天，在年轻人普遍都没有接种天花疫苗的情况下，如果有人用天花病毒或某些动物的痘病毒作为生物武器，其后果不堪设想！

目前，有一些国家对用重组基因技术制造全新的致病菌表现出了极大兴趣，这些人类从来没有接触过的致病菌，可以让大批受感染者突然发病，而又无药可医，这样，施放者便可以在敌方公众中造成极度恐慌，致使受害国一切活动瘫痪，从而轻而易举地达到不战而胜的目的。例如，有报道说，有的国家已经研制出新型的鼠痘病毒，由于人类目前还没有相应的有效治疗药物，因此感染者必死无疑。在实验室里，有人把蜡状杆菌，通过转基因技术改造成像炭疽杆菌一样的致病菌（图4-6）。有人将生物毒素分子的基因与流感病毒的基因拼接在一起，然后再用基因工程方法进行批量生产；也有人对流感病毒基因进行改造，以使具有某种易感基因的民族感染这种病毒，而施放国的人却不易感染。

我们应该看到世界上爱好和平的人民是占绝大多数的，在全世界人民共同努力之下，人类一定有希望彻底销毁生物武器（图4-7）。1972年4月10日，苏联、美国、英国分别在其首都签署了《禁止试制、生产和储存并销毁细菌（生物）和毒剂武器公约》（简称《禁止生物武器公约》），并于1975年3月26日生效。1984年11月15日，我国也加入了这一公约。1998年6月27日，中美两国元首在关于《禁止生物武器公约》议定书的联合声明中，重申了在任何情况下不发展、不生产、不储存生物武器，并反对生物武器及其技术和设备的扩散。



图4-6 在培养基中，通过转基因技术把蜡状杆菌改造成像炭疽杆菌一样的致病菌



图4-7 身穿防生化服的人员在调查炭疽杆菌的污染



进展追踪

通过报纸、杂志、互联网或其他媒体搜集资料，了解公众目前关心的生物技术安全性和伦理问题，就自己感兴趣的话题，写一篇专题综述报告。

参考选题：1. 我国公众对生物技术安全性的关注程度；2. 我国公众对待转基因食品的态度；3. 生物技术产品与国际贸易争端；4. 国际视野中的“克隆人”研究。

专题小结

生物科技迅速发展及其向人类社会广泛而深入的渗透,引发了一系列伦理、社会和法律问题。然而,由于人们所处的社会环境不同,即政治结构、社会和经济水平、宗教信仰和传统伦理道德等的差异,因此公众对生物技术伦理争论就有了不同的见解,不同国家对生物技术的研究和应用也制定出了不同的政策和法规。

针对转基因产品,我国制定了很多法规,这既维护了消费者对转基因产品的知情权和选择权,又保证了转基因技术和已上市的产品安全性。

教材中列举了两项生物技术伦理争论。当基因筛检逐渐成为可能后,便引发基因歧视问题,尤其在保险、信贷、雇工和家庭生活等方面已逐渐凸现出来。设计试管婴儿(将胚胎移植入母体前所做的遗传学诊断是根据某种需要进行的),必须经过严格审批。

由于公众的伦理舆论监督、科学家的自身约束以及政策和法律的规范,公众的许多疑虑恐怕不会成为现实,但是社会决不能因此而掉以轻心,仍要提高警惕。



书海导航



1. 生物伦理学十五讲。高崇明,张爱琴,北京:北京大学出版社,2004年。
2. 人的复制。罗维克著,陈忠良译,北京:科学出版社,1980年。



人教版®

专题 5 生态工程

宇航员从太空遥望地球，由蓝色的海洋和绿色的陆地构成的景观美丽绝伦，但近看，她却已伤痕累累。干旱而龟裂的土地或浊浪滔天的洪水，还有酸雨、水土流失、沙尘暴、核废料辐射……不断恶化的生态环境，正在对人类的生存和发展构成严重的威胁。地球需要我们的细心呵护，需要我们运用生态工程对遭到破坏的生态环境进行修复和重建，通过发展“环境友好的技术”（Environmental-friendly Technology）来重建人类和地球母亲的良好关系，爱护我们共同的家园。



生态工程是指人类应用生态学原理和系统学等学科的基本原理和方法，通过系统设计、调控和技术组装，对已破坏的生态环境进行修复重建，对造成环境污染和破坏的传统生产方式进行改善，并提高生态系统的生产力，从而促进人类社会和自然环境的和谐发展。



科技探索之路

生态工程的兴起

20世纪60年代以来,全球经济进入快速增长阶段。经济的迅猛发展、技术的革新使人们的生活水平大大提高,但其负面影响也越来越严重。在发展程度不同的国家,这类影响的表现形式有很大不同。在发达国家,主要表现为:工业化和高度集约化的农业经营所带来的种种环境污染和过量耗费不可更新资源(如石油等)问题;而在发展中国家则表现为:人口的快速增长、资源的过度开发、损毁和低效利用,以及由此而引起的环境污染问题。这似乎形成了一个发展悖论:即经济的发展需要技术进步,但技术的进步又往往带来严重的环境污染和资源匮乏,反过来威胁到人类社会的发展。

传统的解决问题的思维方式是就事论事,期望通过开发和应用若干单一的环境改造技术,快速解决遇到的每一个环境污染问题。但这种“割裂式思维”的结果,往往仅是污染物在不同地区间的转移,不能彻底解决问题。如图所示,通过建设更高的烟囱,当地的污染可能减少了,但转移出去的废气却造成了其他地方更大范围的污染。发达国家向发展中国家转移多种废弃物的事例层出不穷,这种看似“进步”的损人利己行为,正受到越来越多的指责。美国等国家曾提出实现污染物“零排放”的对策,但由于各种原因,迄今也未能做到。一些发达国家的学者还提



出,通过“限制生产、限制发展”的途径来减少污染的主张,也是不可取的。因为现在全球性环境污染在很大程度上是由发达国家造成的,而限制生产就意味着部分剥夺了发展中国家经济发展的权利,让发展中国家负担全球污染的成本是极不公平的。那么,到底应该怎么办呢?

答案只有一个:只有对发展的含意有了全面的理解,坚持可持续发展,才能从根本上解决环境污染问题。1987年,以挪威前首相布伦特兰夫人为主席的联合国环境与发展委员会(WCED)在给联合国的报告《我们共同的未来》中,提出了“可持续发展”的战略思想。即经济发展不仅要满足当代人的需要,还要不危害后代人的发展能力(Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.)。生态利益应和社会利益与经济的增长协同考虑。在这种形势下,旨在解决环境与经济发展协调问题的一门新学科——生态工程得到了迅速的发展。目前,生态工程已在资源管理、环境保护、生态治理和建设、城市发展等方面得到了广泛的应用,并发挥着越来越重要的作用。

答案只有一个:只有对发展的含意有了全面的理解,坚持可持续发展,才能从根本上解决环境污染问题。1987年,以挪威前首相布伦特兰夫人为主席的联合国环境与发展委员会(WCED)在给联合国的报告《我们共同的未来》中,提出了“可持续发展”的战略思想。即经济发展不仅要满足当代人的需要,还要不危害后代人的发展能力(Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.)。生态利益应和社会利益与经济的增长协同考虑。在这种形势下,旨在解决环境与经济发展协调问题的一门新学科——生态工程得到了迅速的发展。目前,生态工程已在资源管理、环境保护、生态治理和建设、城市发展等方面得到了广泛的应用,并发挥着越来越重要的作用。

OUR COMMON FUTURE

THE WORLD COMMISSION
ON ENVIRONMENT
AND DEVELOPMENT

1

结合左图漫画,想想你家乡附近有没有类似的转移污染的行为?

5.1 生态工程的基本原理

生态工程建设的目的就是遵循自然界物质循环的规律,充分发挥资源的生产潜力,防止环境污染,达到经济效益和生态效益的同步发展。与传统的工程相比,生态工程是一类少消耗、多效益、可持续的工程体系。

关注生态工程建设

为什么要进行生态工程建设呢?让我们首先来分析传统经济模式带来的一些问题。



资料分析

资料1

1998年夏季,长江流域经历了自1954年以来的最大洪灾。加上其他地区水灾,1998年全国受灾人数上亿,近500万所房屋倒塌,2000多万公顷的土地被淹,直接经济损失达1600多亿元人民币。

是什么原因导致长江洪水泛滥?一些调查数据提供了答案的线索:长江两岸大约有4亿人居住,工农业生产及生活需要大量的木材,导致对



砍伐森林——绿色的流逝



被洪水淹没的大地

森林的过量采伐;人多地少的严峻局面,导致大量林地开垦成农田,结果使长江上游森林覆盖率从20世纪50年代中期的22%,减少到90年代的4.4%。森林的砍伐导致长江每年因水土流失而带入的土壤达 $24 \times 10^8 \text{ t}$,年复一年的泥沙淤积,使部分河床高出地面,成为继黄河之后的又一条“悬河”,其浑黄程度有时甚至可以和黄河相“媲美”;另一方面,长江中游有重大蓄洪作用的湖泊,也因为人为的围湖造田在迅速萎缩,例如,洞庭湖水域面积,从1949年的4350 km²缩减到2145 km²,江汉平原的湖泊也从10000多个减少到300个左右。

讨论

1. 导致1998年长江洪水泛滥的主要原因是什么?
2. 洪灾的发生反映出经济发展模式存在什么问题?

资料2

我国是农业大国,人均土地、水等资源占有量远低于世界平均水平。虽然我国用占世界10%的耕地养活了占世界21%的人口,但由于受到西方“石油农业”模式的影响,加上人口压力以及缺乏生态环境意识,所造成的资源破坏和农业环境污染,已经对社会的可持续发展造成了很大障碍。仅以化肥用量为例,2000年,全国耕地面积约为 10^8 hm^2 ,平均化肥施用量是 318.8 kg/hm^2 ,其中仅山东、河南和江苏三省的平均用量就达 564.8 kg/hm^2 ,占全国总用量的30%左右。过量施用农药和化肥,会由于相当一部分不能被作物充分利用,而通过各种途径对土壤、水体和食物造成污染。又如,现代工厂化的饲养方法,使得畜、禽的排泄物,往往不能及时地、按照规定的土地负荷量返回田间,从而造成存放地的污染或者污水所流入水域的富营养化。

小知识

“石油农业”是指大量使用化肥、农药、机械的农业生产方式。由于需要大量的石油、煤、天然气等作为原料或动力而得名。

讨论

1. 你对“石油农业”是如何理解的?
2. 你能举出一些农业生产活动对人体健康以及环境造成危害的实例吗?
3. 如何理解“污染物是放错地方的资源”这句话?
4. “石油农业”的生产模式应当怎样改进?



传统经济模式正在毁坏水、大气、土壤和生物资源,消耗地球赠给我们的自然资本。为了实现可持续发展,经济发展必须符合生态学规律,改变“人类能征服自然”的错误观念,走生态经济之路。生态经济主要是通过实行“循环经济”的原则,使一个系统产出的污染物,能够成为本系统或者另一个系统的生产原料,从而实现废弃物的资源化,而实现循环经济最重要的手段之一就是生态工程。

美国著名经济学家 L. R. 布朗在其新著《生态经济》中说:“经济赤字是我们彼此之间的借贷,而生态赤字却是我们透支于子孙后代”(Economic deficits are what we borrow from each other;

ecological deficits are what we take from future generations.)：“生态学家与经济学家之间的关系，应当犹如建筑师与制造商之间的关系，理应由生态学家给经济发展提供蓝图……经济学家和生态学家携起手来就可以构建出一种可持续发展的经济——生态经济。”

生态工程所遵循的基本原理

生态工程是人类学习自然生态系统“智慧”的结晶，是生态学、工程学、系统学、经济学等学科交叉而产生的新兴学科。它遵循的基本原理如下。

物质循环再生原理

地球以有限的空间和资源，长久维持着众多生物的生存、繁衍和发展，奥秘就在于物质能够在各类生态系统中，进行区域小循环和全球地质大循环，循环往复，分层分级利用，从而达到取之不尽、用之不竭的效果。而没有物质循环的系统，就会产生废弃物，造成环境污染，并最终影响到系统的稳定和发展。

“无废弃物农业”是我国古代传统农业的辉煌成就之一，也是生态工程最早和最生动的一种模式（图5-1）。要知道，土壤的肥力是一切农业生产特别是种植业的基础，当今大多数国家的土壤肥力，都严重地依赖于化学肥料，而在古代是根本没有化肥投入的。那么，我们的祖先靠什么维持了土壤肥力几千年，使它没有被所供养的亿万民众所耗竭呢？这个问题的答案被一位美国土壤学家在1910年前后找到了。他通过对当时中国农业的实地考察，写成《四千年的农民》一书。他认为其中的诀窍在于中国农民几千年来实施的是一种“无废弃物农业”，即通过积极种植能够固氮的豆科作物，以及收集一切可能的有机物质，包括人畜粪便、枯枝落叶、残羹剩饭、河泥（图5-2）、炕土、老墙土以及农产品加工过程中的废弃物等，采用堆肥和沤肥等多种方式，把它们转变为有机肥料，施用到农田中，改善了土壤结构；培育了土壤微生物；实现了土壤养分如氮、磷、钾及微量元素的循环利用。

小知识

L. R. 布朗说，生态经济就是“能够满足我们的需求而又不会危及子孙后代满足其需要”的经济。要做到这一点，我们的经济一定要遵循生态学的基本原理，如果违背这个原理，就一定会由盛转衰，终致崩溃。

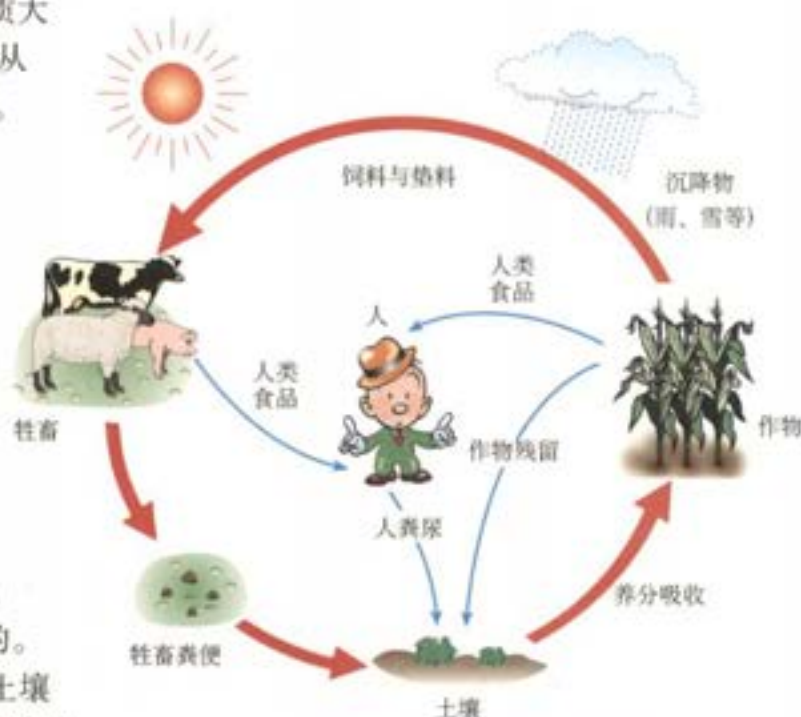


图5-1 “无废弃物农业”物质和能量流动图



图5-2 近代中国南方的农民在挖河泥作肥料（1909年摄）

物种多样性原理

一般而言，物种繁多而复杂的生态系统具有较高的抵抗力稳定性。农业和林业生产为追求最大产量，常常忽略生物多样性而连年种植单一品种，这往往会造成病虫害增加，环境恶化。



资料分析

我国“三北”防护林，虽然取得了巨大的生态和经济效益，但由于没有完全按照自然生态规律办事，也产生了不少问题。例如，在辽宁西部的章古台地区，最初进行林带建设时，单一种植了大片的樟子松林，由于没有一条昆虫与其天敌相生相克的食物链，使得偶然滋生的松毛虫肆虐一时，很多地方的樟子松因此奄奄一息，甚至成为鸟兽了无踪影的“不毛之地”。同样的原因，前几年仅一种小小的杨树天牛就将宁夏、内蒙古等地的几十亿株杨树毁于一旦。



遭虫害而死的樟子松



珊瑚礁区生物多样性非常高

又如，由珊瑚虫和某些藻类共生组成的珊瑚礁区，生物多样性非常高。在澳洲的大堡礁内，仅目前记录的鱼类就有约1100种，还有超过300种的造礁珊瑚，以及无数已被命名或尚待发现的海洋无脊椎动物和藻类。

不同生物在珊瑚礁区占据不同的位置，它们通过食物链关系互相依存，使得珊瑚礁能够在养分稀少的深海中，保持着很高的生物多样性。

讨论

1. 为什么樟子松林的松毛虫会肆虐，几十亿株杨树会毁于一旦？而珊瑚礁区却能够在养分稀少的深海中，保持着很高的生物多样性？

2. 从上面正面和反面的实例，你能得出怎样的结论？你认为生物多样性的破坏有人为因素吗？

生物多样性程度高,可以为各类生物的生存提供多种机会和条件。众多的生物通过食物链关系互相依存,就可以在有限的资源条件下,产生或容纳更多的生物量,提高系统生产力。即使某个物种由于某种原因而死亡,也会很快有其他物种占据它原来的生态位置,从而避免了系统结构或功能的失衡。

协调与平衡原理

在进行生态工程建设时,生物与环境的协调与平衡也是需要考虑的问题之一。



资料分析

江苏、上海和浙江三省市交界的太湖养育了江浙百万生灵,号称“包孕吴越”。近年来,由于周边城市、工业和农田的排水中氮、磷的浓度较高,促使太湖水体中水葫芦和藻类疯长。它们不但耗竭了水中溶解的氧,而且植物体死亡后,分解过程中产生的大量生物性毒素,给水生生态系统造成极大的危害,使水体不再适宜鱼虾等生物的生活,甚至成为“死水体”,并影响到人类的健康。



水葫芦泛滥对生态系统造成影响



近处为衰败的杨树,远处为繁茂的当地树种

又如,我国西北一些地区年降雨量小于450 mm,是只适宜种植灌木和草的地区,但却被硬性规定种植属于乔木的杨树,以致到处都是“杨家将”。生态的不适应使许多地方的杨树长成半死不活的“小老头”状,远不如当地树种那样有较高的生态适应性,结果防护林成了残败的“灰色长城”。

讨论

“西部大开发”是国家为振兴西部而提出的宏观决策,其中很重要的一项内容就是生态工程建设。从协调与平衡原理出发,

想一想,在我国西北地区进行防护林建设时,应选择哪些树种?如果在该地区发展畜牧养殖业,你认为应该注意什么问题?

处理好生物与环境的协调与平衡, 需要考虑环境承载力。环境承载力(又称环境容纳量)是指某种环境所能养活的生物种群的最大数量。如果生物的数量超过了环境承载力的限度, 就会引起系统的失衡和破坏。你能举出当地的实例进行说明吗?

整体性原理

自然生态系统是通过生物与环境、生物与生物之间的协同进化而形成的一个不可分割的有机整体。人类也处在一个社会—经济—自然复合而成的巨大系统中。进行生态工程建设时, 不但要考虑到自然生态系统的规律, 更重要的是, 还要考虑到经济和社会等系统的影响力(图 5-3)。例如, 在进行林业工程建设时, 一方面要号召农民种树, 另一方面一定要考虑贫困地区农民的生活问题, 如粮食、烧柴以及收入等问题。因为往往是以上因素导致了农民对森林、灌丛的过量砍伐。如果农民的生计得不到保证, 随时会发生“前面造林, 后面砍林”的现象。因此, 只有把生态与经济结合起来, 才能从根本上达到造林和护林的目的。

除此之外, 社会习惯、法律制度等也都对生态工程建设有着重要影响。建立在对系统成分的性质及相互关系充分了解基础之上的整体理论, 是解决生态环境问题的必要基础。只有应用整体性原理, 才能统一协调当前与长远、局部与整体、开发与环境建设之间的关系, 保障生态系统的平衡和稳定。

系统学和工程学原理

系统的结构决定功能原理 生态工程需要考虑系统内部不同组分之间的结构, 通过改变和优化结构, 达到改善系统功能的目的。我们可以把系统的结构比作计算机网络。在计算机网络中, 系统的结构是如何决定功能的呢?

在计算机功能和台数相同的条件下, 如果采用分布式结构, 即各计算机均和两个或两个以上的计算机相联(图 5-4, 右), 工作的可靠性要比采用集中式和环式结构(图 5-4, 左, 中)的可靠性高。因为在这种结构中, 一般局部故障, 不至于造成整个网络的瘫痪, 而很多生态系统也存在着类似的现象。在生态工程建设中, 需要利用这个原理来改善和优化系统的结构, 从而达到功能改善的效果。例如, 我国南方水网地区的桑基鱼塘

处理好生物与环境的协调与平衡, 需要考虑环境承载力。环境承载力(又称环境容纳量)是指某种环境所能养活的生物种群的最大数量。如果生物的数量超过了环境承载力的限度, 就会引起系统的失衡和破坏。你能举出当地的实例进行说明吗?



图 5-3 自然—社会—经济复合系统



图 5-4 三种计算机网络结构示意图

模式，就是把很多单个生产系统通过优化组合，有机地整合在一起，成为一个新的高效生态系统，大大提高了系统生产力。这种模式几百年以来，在我国的太湖和珠江三角洲地区，长期流行，造就了发达的农村经济，太湖丝绸名扬世界，不能说与之没有关系。

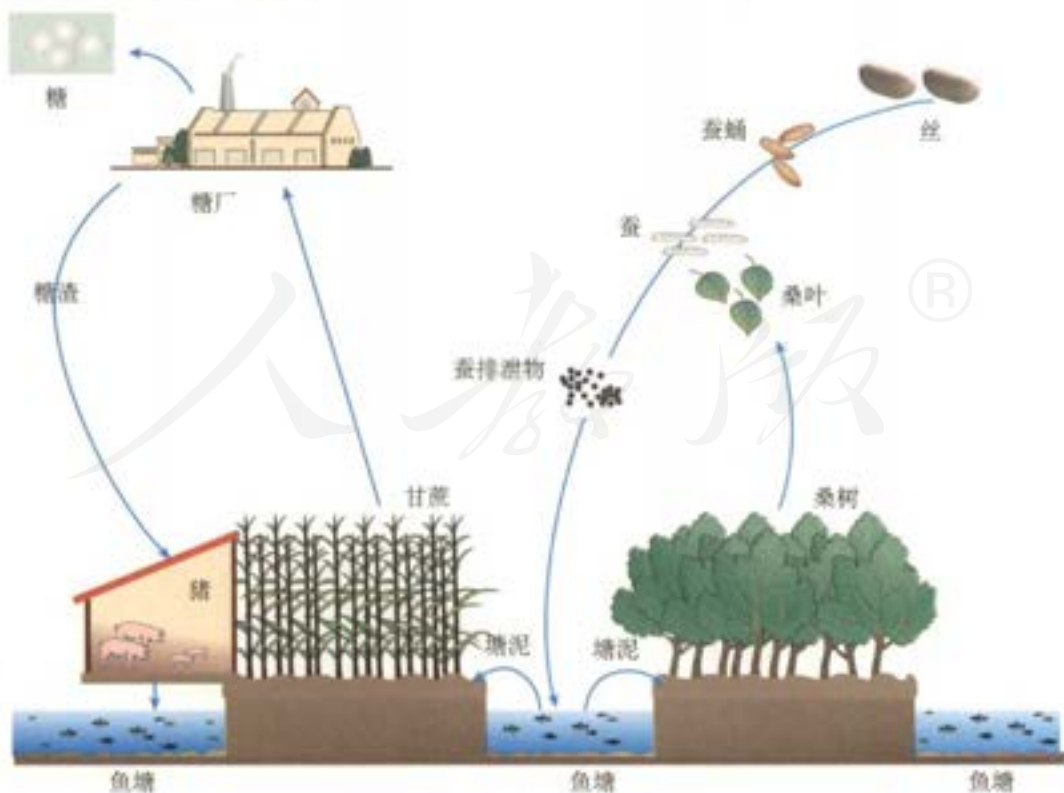
系统整体性原理 系统各组分之间要有适当的比例关系,只有这样才能顺利完成能量、物质、信息等的转换和流通,并且实现总体功能大于各部分之和的效果,即“ $1+1>2$ ”。例如,珊瑚礁之所以能够保持很高的系统生产力,得益于珊瑚虫和藻类组成的高效的植物—动物营养循环。通常情况下,失去了共生藻类的珊瑚虫会因为死亡而导致珊瑚礁逐渐“白化”,失去其鲜艳的色彩,那里的生物多样性也将锐减,从而造成系统的崩溃。

你能举出系统整体功能大于部分之和的例子吗？

思考与探究

1. 举例说出发生在你身边的物质循环利用形式,并阐明物质循环利用的优点。
2. 通过询问家长或调查的方式,分析你所熟悉的环境(如田间、坡地、小树林、公园等)的生物多样性增减情况及主要原因。

3. 桑基鱼塘分布在我国长江三角洲、珠江三角洲一带的水乡，是一种典型的水陆物质和能量交换型生态工程（如下图）。试分析桑基鱼塘的物质和能量流动途径。



水陆交换系统——桑（蔗、蕉）基鱼塘模式



前景广阔的沼气工程



大型沼气池外观（北京大兴区留民营村）



沼气是利用人畜粪便等物质，经过一系列复杂的厌氧发酵过程，产生的富含甲烷气体的燃料。发展沼气不仅可以有效地解决农村的燃料问题，还为饲料、肥料开辟新的来源，对节省林木和保护林草植被也具有重要的意义。沼气工程在我国农村的大面积推广是在20世纪60年代以后，尤其是近20年以来的事情。

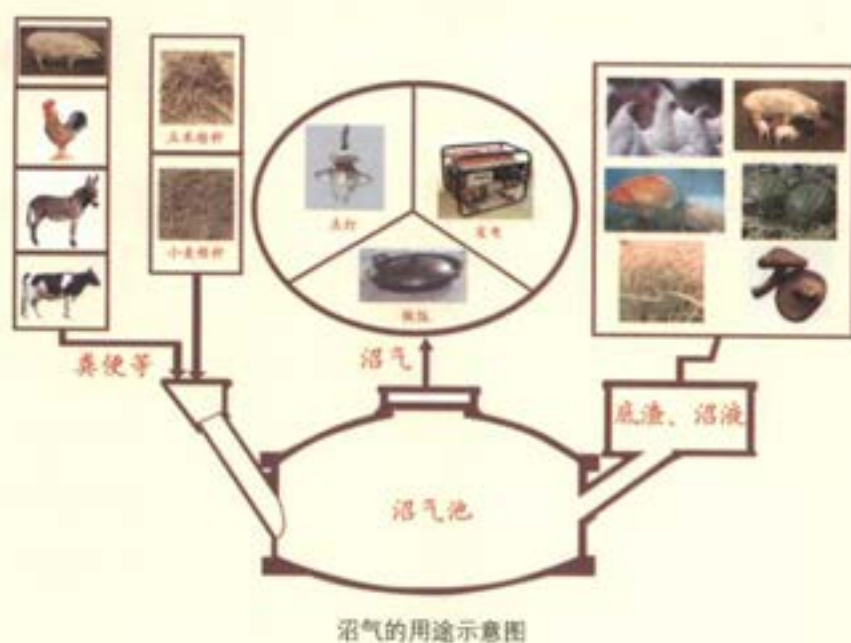
在我国农村，70%的农户缺少燃料、饲料、肥料，特别是山区更是如此。由于上述“三料”都依赖于有限的作物秸秆、谷壳、麸皮等农副产品和薪柴林等生物质^①，迫使农民不断强化对林灌草地的滥伐滥采，结果导致了严重的水土流失，对生态环境造成了很大破坏。例如，我国黄河流域，历史上曾是草原、森林繁茂之地，但由于千百年来过度砍伐，不当的农耕（坡地开垦）和放牧，才造成了今日千沟万壑的状况，使之成为我国水土流失最严重的地区之一。

从1983年开始，我国政府就把沼气工程列入国民经济的“农村能源”发展计划。第一期计划实施的结果很好，各试点县在5年内人均年增加了相当于20 kg标准煤^②的生物质能^③，相当于年节约了100 kg的生物质；同时，森林覆盖率平均提高了6个百分点，使生态环境得到了改善。

在实践中，人们不满足于将沼气工程仅作为获取能源的手段，还开展了利用沼气和底渣的试验，结果发现它们在用做再生饲料、肥料、食用菌培养基，以及改善农村卫生、促进畜禽养殖场废弃物的集中处理等方面，都具有很好的功效。例如，底渣处理后可以作为猪、牛的饲料和食用菌的培养基；沼气液则可以通入养鱼池，用于促进浮游生物的生长，增加鱼的饵料；沼液和底渣还是优良的作物肥料。同时，沼气生态工程还可以减轻环境污染。

①③ 生物质及生物质能：生物质主要是指植物利用太阳光能将二氧化碳和水合成的有机物质，其中所含的能量称为生物质能。

② 标准煤是表示物质能量的单位，1 kg 标准煤的物质燃烧能够产生 29 300 kJ 的热量。



沼气工程充分利用了物质循环再生的原理。由于它在物质、能量多级充分利用和转化方面独特的纽带作用，大大促进了农村以农牧结合为中心的多种经营，已成为我国当今农村生态工程建设中最重要的和最基础性的组分。我国政府有关部门已做出规划，要在今后30年内将全国的沼气池数目由现在的大约1000万个增加到5000万个。



实践活动

调查沼气工程的实施情况

有条件的地方，请对家乡附近的沼气工程进行调查。调查时要做较详细的记录，记录应包括以下内容（可根据具体情况增减）：

1. 调查时间、地点及人员组成；
2. 沼气池的结构和工作原理；
3. 沼气系统运行状况，包括原料来源、产气情况、用途、日常管理、成本、运行周期等；
4. 沼气和沼液和底渣的利用情况。

调查结束后，整理记录，画出沼气工程的能量流动示意图，并通过网络、报纸、走访等途径搜集资料。

思考下列问题并和同学交流：

1. 为什么我国要大力发展沼气工程？
2. 目前沼气工程还有哪些亟待解决的问题？

5.2 生态工程的实例和发展前景

20世纪70年代以来,我国生态工程的理论和实践都取得长足进展。在某些研究领域已处于国际领先的地位,在实践上已应用于农业生产、环境保护、城镇建设等许多方面,取得了令世人瞩目的成就。

生态工程的实例

在进行生态工程建设时,应当根据当地的实际条件,因地制宜地进行。以下介绍的生态工程实例,都是我国生态科学工作者和群众在长期的生态工程建设实践中,不断完善而形成的。你可以结合当地实际,选取若干实例与同学共同分析讨论。



图5-5 压制、贮存青贮玉米

农村综合发展型生态工程

问题 在我国13多亿人口中,有近一半的人生活在农村,人多地少是突出的矛盾。怎样才能实现物质的多级循环利用,在资源有限的条件下有较多的产出,取得经济效益、社会效益和生态效益的全面提高呢?

对策 建立农村综合发展型生态工程,是实现这一目标的有效途径,这在我国已经有不少成功的实例。

案例 北京郊区的窦店村就是这方面的一个典型。窦店村在被作为农业现代化的试点后,实施了以沼气工程为中心的物质的多级循环利用工程:作物秸秆用来生产食用菌和饲料(图5-5);饲料喂养畜禽;人、畜粪尿作为原料生产沼气;沼液用于水产养殖业;沼渣为有机农产品——“无公害蔬菜”施肥和喂养畜禽,从而达到了物质利用的良性循环,缓解了农村“三料”(饲料、燃料、肥料)的缺乏问题,提高了土地产出水平;同时畜禽、鱼、谷物、饲料等加工品也可输出到市场上出售。总之,农业生态工程能创造多种劳动力

小知识

青贮:是指在玉米等作物没有完全成熟时,将果穗和秸秆一起收获切碎,通过厌氧发酵成为牛羊优质的青饲料。

氨化:是指利用氨水或尿素化肥处理稻麦秸秆,使之软化适口,提高其作为饲料的营养价值。
蓝绿萍:一种具有固氮作用的藻类。

就业机会,增加农民收入,开发可以更新的资源,减少环境污染。目前,窦店村的生态工程建设已被作为样板在全国进行推广(图5-6)。

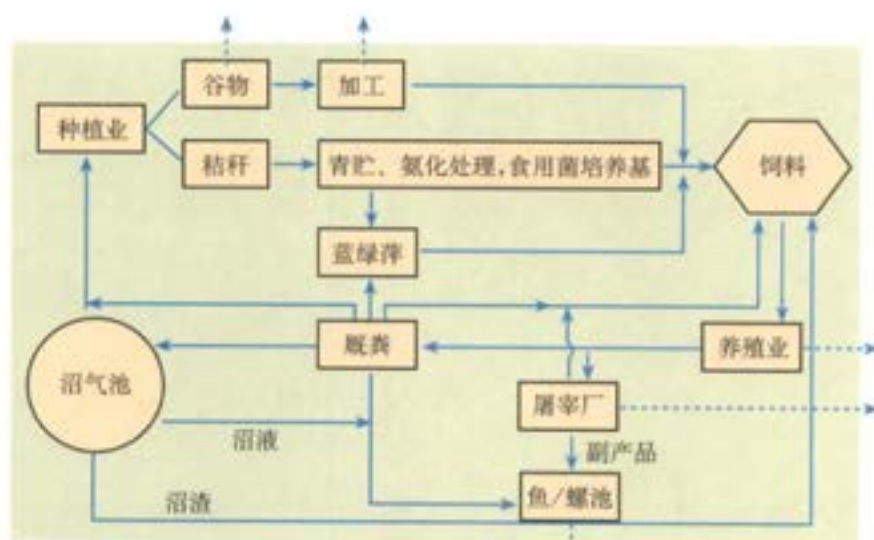


图5-6 窦店农村综合发展生态工程示意图

——物质在系统内流动 输出到市场



讨论

请分析这一图解,并与当地农村的生态系统相比较,讨论以下问题:

1. 在这一案例中,主要运用了哪些

生态工程的基本原理?

2. 这一生态系统的结构和功能有哪些特点? 有哪些值得借鉴的做法?

小流域综合治理生态工程

问题 小流域是指河流各级支流的集水区域(面积一般在 $3 \sim 50 \text{ km}^2$)。这些区域往往是水土流失比较严重的地方。例如,我国黄河携带的大量泥沙,是许许多多小流域的水土流失累积在一起所致。据统计,我国水土流失面积约为 $1.85 \times 10^6 \text{ km}^2$,每年土壤流失量约为 $5 \times 10^9 \text{ t}$,给下游地区带来严重的水患。此外,由于流失的土壤中含有大量的氮、磷、钾等植物所需养分,相当于每年流失 $4 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7 \text{ t}$ 化肥。因此,小流域治理具有十分重要的意义。

对策 小流域治理模式是我国农民和技术人员的创举,它是应用生态工程的整体原理、协调与平衡原理,以及工程学等原理,通过保土蓄水、耕作措施、林草措施等工程和生物措施,层层设防来控制土壤侵蚀的。目前,通过产业结构调整、土地优化利用、加强农林牧结合等



图5-7 小流域治理模式

措施,小流域治理已经从开始时的单纯造林和减水、减沙等工程,逐渐转移到生态经济型模式上,目标是建立稳定、持久、高效的复合系统,获得最大的生态和经济效益(图5-7)。

案例 我国甘肃陇南地区总结出了“九子登科”的治理模式:即山顶戴帽子(封山育林),山腰系带子(还林还草,减少径流),坡地修台子(坡地改梯田种植作物),地埂锁边子(种植作物保护地埂),荒地荒沟栽苗子(营造薪柴林),山脚种果子(种植果园),沟底穿靴子(各种拦截坝、堤,拦蓄泥沙),见缝插针钉扣子(利用零星地种植林果),秋田盖罩子(覆盖地膜等保土耕作措施)。



讨论

分析甘肃省陇南地区的“九子登科”模式,在说明“九子”措施含义的基础上,谈谈你对小流域综合治理生态工程的理解。

1. 小流域的综合治理,“综合”表现在哪些方面?

2. 为什么要针对不同的地形采取不同的措施?这体现了生态工程的什么原理?

3. 从这一案例看,当地是怎么做到经济效益与生态效益相统一的?这一模式在其他小流域能够照搬吗?



图5-8 草方格阻止沙丘移动

大区域生态系统恢复工程

问题 据统计,1999年我国有沙漠化土地 $2.67 \times 10^6 \text{ km}^2$,其中由于人类农事活动的不当而引起的荒漠化面积,就有近 $9 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。这些荒漠主要分布在西北地区。科学家的研究表明,造成荒漠化的因素及其影响力的大小依次为:过度樵采(32%),过度放牧(30%),盲目开垦(27%),不合理利用水资源(9.6%),其他(1.4%)。

对策 为了控制荒漠化的发展和水土流失,改善生态环境,提高人民的生活水平,我国实施了一系列森林或草原植被恢复的生态工程、水土保持的生态工程等,如退耕还林还草生态工程、防沙治沙生态工程(图5-8)、“三北”(“三北”指华北北部、东北大部 and 西北大部)防护林生态工程(图5-9);等等。



图5-9 “三北”防护林分布图

案例 退耕还林还草工程从1999年开始在四川省、陕西省、甘肃省试点进行，到2000年扩大到25省区，至2002年底，累计退耕还林 $5.9 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。“三北”防护林总体规划用73年时间（1978—2050）完成（图5-10），东起黑龙江省宾县，西至新疆乌孜别里山口，横跨13个省551个县，总面积 $4.069 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。工



图5-10 三北防护林

程完成后“三北”地区森林面积可增加到 $6.057 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，覆盖率提高到15%，林木蓄积量达 $4.3 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，生态效益累计可达13 000多亿元。该工程1987年被联合国环境规划署授予“全球500佳”之一，被誉为“世界生态工程之最”。

在进行上述生态工程建设的同时，还结合了其他配套工程，如风能工程（图5-11）、集水工程（图5-12）等。前者可以为人们提供价格低廉而无污染的电力，后者提高了集水、用水效率。



图5-11 新疆达坂城风力发电站

图5-12 干旱地区的集雨井



讨论

1. 国家为什么投入巨大的人力和物力兴建“三北”防护林工程？这一工程为什么需要如此漫长的时间？
2. 这一工程横跨多个省区，根据协调与平衡原理和生物多样性原理，不同地区在造林设计上应当注意什么问题？
3. 你的家乡属于“三北”地区吗？如果是，你能为这一工程做些什么？如果不是，请调查当地是否有类似的生态恢复工程。

大区域生态系统恢复工程使我国一些区域在造林、治沙，以及农田林网化等方面，取得了较大的成绩。这些绿色屏障减轻了风沙、干热风、寒露风、昆虫等对农作物的危害，改善了农业生产条件，加快了地方经济发展和人们脱贫致富奔小康的步伐。

湿地生态恢复工程

问题 湿地是地球上独特的生态系统，是水域和陆地的自然过渡形态。我国目前有湿地 $6.594 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，是仅次于加拿大和俄罗斯的世界第三个湿地大国（图 5-13）。湿地被誉为地球的“肾脏”，具有蓄洪防旱，调



图 5-13 中国湿地分布图

节区域气候，控制土壤侵蚀，自然净化污水，为迁飞的鸟类和多种动、植物提供栖息地（图 5-14），以及为人们提供休闲娱乐的环境等功能。在经济发展过程中，人们对湿地进行排水和围垦，已经破坏了地球上 80% 的湿地资源。湿地的缩小会导致局部气候变劣、地下水位下

降、生物多样性降低、迁飞鸟类绝迹等,因此,湿地生态恢复工程已成为我国生态工程中的一项重要任务。

对策 湿地生态恢复工程就是采用工程和生物措施相结合的方法,如废水处理、点源和非点源污染控制、土地处理工程,以及植物物种的引进种植等,使受到干扰的湿地得以恢复。在湿地的周围,还应建立缓冲带,以尽量减少人类的干扰,使湿地依靠自然演替等机制恢复其生态功能。

案例 鄱阳湖的吞吐水量可以占到长江总水量的15%,是很重要的一类湿地。但是由于人类的围湖造田,使其面积从20世纪50年代的5 100 km²缩小到90年代的3 900 km²。鄱阳湖面积的缩小,使长江的蓄洪能力缩减了 $4.5 \times 10^9 \text{ m}^3$,湖区洪灾频繁发生。最严重的一次是1998年,数十万公顷的良田被淹没,150多万人家园被毁。为此,党中央提出了“平堤行洪、退田还湖、移民建镇”的方针,共迁移农民22万户,使长江流域的湖泊水面又恢复到建国初期的水平。鄱阳湖生态恢复工程的规模之大,投入之多,不仅在我国前所未有的,在世界上也是空前的。但是,对湿地的恢复不是简单的退耕还湿地或建立自然保护区就能奏效的,在很大程度上还取决于湿地上、中游的水土保持情况,以及如何解决迁出农民的生计问题。



图5-14 湿地上的黑颈鹤

小知识

点源污染是指能够找到具体污染来源的污染,如下水道、工厂排污口等。

非点源污染是指不能准确确定污染发源地的污染,如农田施用农药、化肥对地表和地下水造成的污染。



讨论

1. 当初人们为什么要围湖造田?
2. 为什么说退耕还湖是一项巨大的系统工程? 实施这一工程面临的主要困难是什么?
3. 地处湖区上游的人们对湿地恢复生态工程负有什么责任?

矿区废弃地的生态恢复工程

问题 随着工业的发展,采矿业对环境造成的日渐严重的破坏,使人们不得不将矿区废弃地的生态恢复工程提到日程上来。因为矿藏开采后往往会造成土体、土壤和植被,乃至整个地区生态系统的破坏。矿区极端恶劣的土地条件,又会阻碍植被的生长。尤其是规模巨大的采矿业,不仅会对土地景观造成巨大的影响(图5-15),还可能产生严重的重金属污染。



图5-15 采矿业对环境造成极大影响



图5-16 矿区生态恢复工程流程图



讨论

- 在这一案例中，恢复植被的措施是：同之处？
植树和种草，为什么不是种植农作物？
- 怎样合理地筹划养殖肉牛的数量？
- 除煤矿外，你知道还有哪些矿区吗？这些矿区的恢复工程与煤矿是否有不同之处？
- 你的家乡附近有矿区吗？你能结合那里的自然环境和社会实际，对矿区恢复生态工程提出建议吗？

小知识

1 hm² 的阔叶林，每天能够吸收 1 t 二氧化碳，释放 0.75 t 氧气。较多的绿地会使人们身心愉悦。在城市绿化中，植被类型的选择应根据水、热条件因地制宜，不一定都采用草坪或乔木林，缺水地区应更多选择灌丛，以及乔、灌、草的结合。

对策 为加速恢复矿区生态环境，人们采用的措施包括人工制造表土、多层覆盖、特殊隔离、土壤侵蚀控制、植被恢复工程等。其中，关键在于植被恢复，以及为植被恢复所必需的土壤微生物群落的重建。由于矿区废弃土地的水分状况很差，特别是养分极其贫瘠，导致植被很难恢复。因此，恢复矿区生态环境，就要首先通过机械方法平整压实土地，人工制造表土；然后，在人造表土上，植树种草。

案例 我国赤峰市元宝山矿区生态恢复工程：自 20 世纪 60 年代以来，该矿区建立了大中小型煤矿 20 余个，为此，共挤占耕地 5 500 hm²，并造成了大量排土场、塌陷地和闲置地等类型的废弃地。该地区在生态恢复改造工程中，采取了诸如围栏、排石整地、植树造林、种草等措施，仅用了 3 年多的时间，就建立了草地 750 hm²，年产优质牧草 4 000 t 以上；还建立了 3 处加工能力为 8 t 的饲料工厂及一处饲养场，进行肉牛的养殖和粪肥的利用。这种综合开发治理为该地区带来了良好的生态、社会和经济效益（图 5-16）。

城市环境生态工程

问题 随着我国城市化进程的加快，能流、物流和人流的增加，一方面促进了城市的繁荣，另一方面，也带来了严重的环境污染等问题。据统计，我国城市目前年产垃圾接近 1.5×10^8 t，城市人均日产垃圾超过 1 kg。过量的垃圾侵占了大量的土地，同时污染了环境；城市中的大气污染也比较严重，煤的不完全燃烧和汽车尾气的排放是大气污染的重要来源；在噪声污染方面，我国有 70% 的城市环境噪声平均达 65 dB，属于中等污染水平。

对策和案例 城市是由自然系统、经济系统和社会系统所组成的人工生态系统，因此，对城市环境的治理要把整个城市作为一个巨大的生态系统来考虑，即用生态工程的方法对城市环境进行综合治理。首先在城市规

划和布局方面,要进行城市生态分区,合理分布工业区、居住区、生态绿地等;其次是推广“环境友好技术”和低污染清洁生产工艺,以减少污染的产出;采用各种手段治理污染,进行废弃物的资源化利用;同时要建立健全法制进行监督。例如,在净化城市空气方面,应在推行清洁生产的同时,加强城市绿地建设,提高城市林木覆盖率。又如,对污水的进一步净化,除发挥污水处理厂的重要作用外,还可以采用水生植物、湿地生态净化工程,以及水体富营养化防治生态工程等。我国科技人员创造了浮床生态工艺法来净化污水(图5-17):在浮床上种植特殊的水生、半水生植物以吸收水中的化学元素,采收的绿色植物体有的可以直接用做饲料,有的在大量干燥处理后可以用来提取铜、锌、汞等金属。这种方法一般在1~2年内就能使水体由原来的劣V类标准净化为Ⅲ类标准,并能使沉水植物和底栖生物等水生生物得到自然恢复,使水域生态系统逐步达到相对稳定状态。再如,对垃圾应进行分类处理,并实现垃圾资源化利用:改露天放置为掩埋处理,地表种植植物,减少对水、气等资源的污染;还可以用热解(在无氧或厌氧状态下加热使垃圾分解,回收利用)、燃烧发电等方法。

为了树立城市环境建设的典范,国家环境保护总局自1997年组织开展了创建国家环境保护模范城市活动,张家港、大连(图5-18)、厦门、深圳、珠海、威海等城市被批准为首批国家环境保护模范城市。



图5-17 我国科技人员创造了浮床生态工艺法净化污水



图5-18 国家环境保护模范城市——大连



讨论

1. 汽车尾气是城市大气污染的主要来源之一，汽车噪声又是城市噪声污染的主要来源。你认为应当限制城市居民购买汽车吗？为什么？如果不限，应当采取什么措施来减少由汽车造成的污染？

2. 城市的水污染问题应当采取哪些措施来解决？每一个城市居民应当在这方面

承担什么责任和义务？

3. 现在不少城市大搞绿化美化，也有专家指出，某些缺水城市不宜广种草坪。如果你生活在城市，你认为你所在的城市应当怎样绿化美化？

4. 关于城市生态工程，你还有什么问题？提出来与同学讨论。

在肯定生态工程的作用，特别是对恢复和重建受损生态环境的重要作用的同时，不要忘记大自然固有的强大的生态恢复力量；更不能误认为只要有了生态工程，就可以走发达国家“先污染、破坏，后治理”的老路。

生态工程发展的前景

“生物圈2号”生态工程的实验及启示

多年来，人类梦寐以求地憧憬着冲出地球，向宇宙进军，在地球外寻找“诺亚方舟”。“生物圈2号”就是在人们的这种求索中诞生的。其目的是制造一个人工模拟的生命支持系统，以验证人类在离开地球的情况下，利用人工生态工程，仅仅依靠太阳能，能否维持生存。

“生物圈2号”建造于美国亚利桑那州的沙漠中，它因人们把地球本身称做“生物圈”而得名。它是一座微型人工生态循环系统。这个占地约1.27 hm²、8层楼高的密封钢架结构的建筑物，是人们花费了约2亿美元和8年时间建造起来的。它的地上部分为立体钢架结构型，配有双层玻璃窗，底部以厚水泥层完全与外界隔离。内部主要由7种模拟生态群落区和两个大气扩张室——“肺”组成。生态群落包括5个野生生物群落（热带雨林、热带草原、海洋、沼泽、沙漠）和2个人工生物群落（集约农业区和居住区），约有生物4 000种（图5-19）。

“生物圈2号”虽然在物质上与外界完全隔绝，但可以通过电力传输、电信和计算机同外界联系。河水的流动（包括海洋的流动）、热带雨林中的风、降雨、雾和沙漠中的干热风等完全由机器推动，人密闭地生活在其中，只允许太阳光通过玻璃供植物进行光合作用。

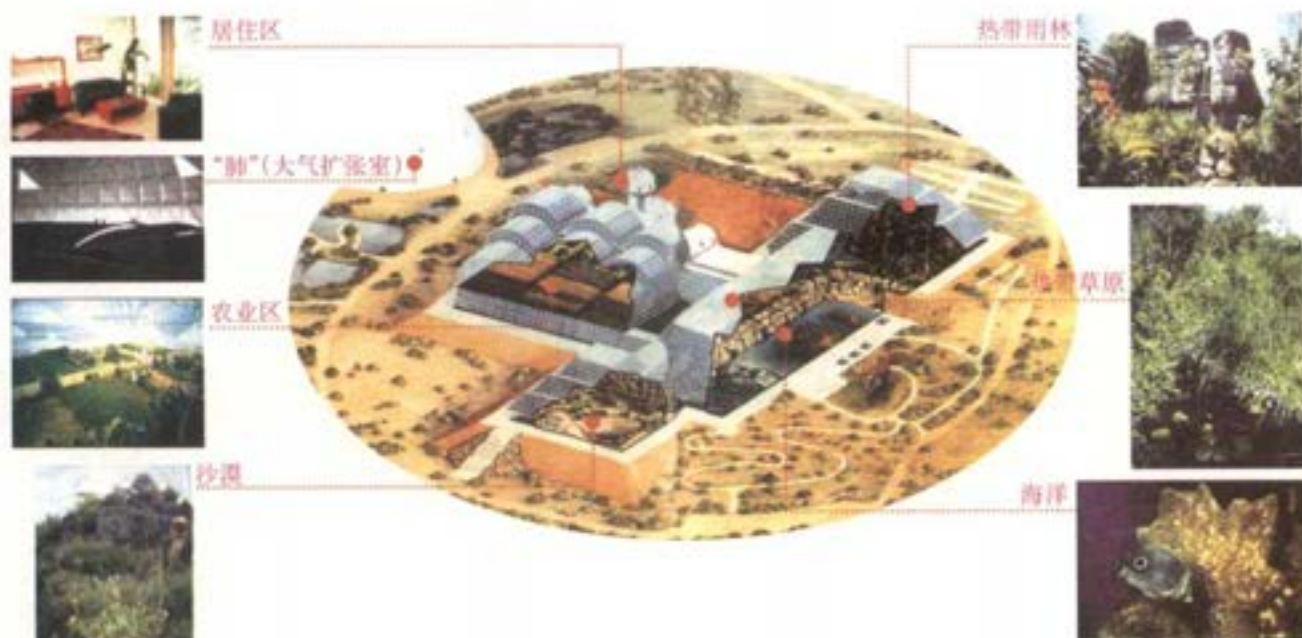


图5-19 “生物圈2号”结构图

“生物圈2号”的物质循环途径是：农田区的作物秸秆作为附近动物饲养场的饲料，产出的肉、蛋、奶以及作物产品供应人类。死亡植株及动物与人的排泄物经分解者进行分解，返还到农田中给植物提供营养。生活废水经处理后进行循环利用。 O_2 由植物光合作用提供，呼吸产生的 CO_2 由植物吸收。

但经过4年的试验，情况偏离了科学家的预想，分析其原因主要是温度失调，以及“大气和海洋”比例与地球相差甚远，生物呼吸释放的 CO_2 超过了植物和海洋的固定能力，导致空气中 CO_2 的含量猛增； O_2 量减少，不足以维持人及动物的生存；19种脊椎动物死亡；除蟑螂、蟋蟀、蚂蚁外，其余昆虫也全部死亡；靠昆虫传粉延续后代的植物也灭绝了，这个实验最终以失败告终。1996年哥伦比亚大学接管“生物圈2号”，现在它已成为一个地球系统科学的研究中心，同时对游人开放。

“生物圈2号”工程虽然失败了，但它给了人类深刻的经验教训，使我们认识到与自然和谐共处的重要性，深化了我们对自然规律的认识，即自然界给人类提供的生命支持服务是无价之宝。迄今为止，尽管科学技术已经如此发达了，但是人类仍然没有能力去完全模拟出自然生态系统。

“生物圈2号”工程是人类在认识自然的道路上迈出的一小步，人类探索自然、模拟自然的试验将在它的基础上继续进行下去。

► 异想天开

你认为人类将来可能在月球或火星上建造第二个生物圈吗？假如有一天这一梦想成为现实，你愿意成为这些星球上的居民吗？

对我国生态工程发展前景的分析与展望

生态工程自20世纪60年代提出后,在世界范围内逐渐得到广泛的认同和重视。目前,西方国家的生态工程除了治理环境污染的目标之外,主要是通过介于工程和依靠自然恢复力的一种中间途径,集中于对破坏的生态系统,特别是开矿后的废弃地以及湿地等进行生态恢复。但总体来看,发达国家的生态工程的应用范围比我国的小,也不那么强调经济效益。

我国目前面临的生态危机,已经不单纯是环境污染问题,而是与人口激增、环境与资源破坏、能源短缺等问题结合在一起的“并发症”。作为解决途径之一的生态工程,需要走有中国特色的道路,即不但要重视对生态环境的保护,更要注重与经济、社会效益的结合。例如,我国的农业生态工程,就需要适合我国人多地少、山区丘陵面积大、农业生产条件差异明显、生产规模小、经营综合性强等特点。由于我国的农业生态工程遵循的“整体、协调、再生、循环”的基本原理,植根于我国“天人合一”的古典哲学思想,吸收了传统农业的精华,适合中国农业和农村的特点,才显示出了如此强大的生命力。

毋庸讳言,目前我国的生态工程还有一些不足之处,如缺乏定量化模型的指导,难以像近年来西方出现的“精确农业”那样,设计出标准化、易操作的生态工程样板。此外,设计缺乏高科技含量,生态系统的调控缺乏及时准确的监测技术支持,缺乏理论性指导等。但是,由于我国的生态工程符合我国的国情,政府十分重视,因此,在实践中得到了广泛的应用。例如,以生态工程为技术支撑的“中国生态农业”,从1980年产生至今,虽然仅20多年时间,全国有计划、有组织的生态农业试点县和乡(村、农场)就已有2000多个,覆盖农田面积25000 km²以上、内陆水体76 km²、草地912 km²,涉及人口约2581万。此外,还有数以百计的环境保护生态工程试点,也都不同程度地获得生态、经济和社会效益,如我国安徽省颍上县的小张庄(图5-20、5-21),以前是个农业结构单一,生态环境恶劣的穷地方;通过农业生态工程的建设,已经成为农、林、牧、渔综合发展的农业生态村。随着我国社会、经济的发展,以及可持续发展战略的实施,我国的生态工程一定会展现出广阔的发展前景。

发达国家与我国的生态工程建设强调的重点有所不同,为什么?



图5-20 小张庄农、林、牧、渔综合发展



图5-21 小张庄的农田林网

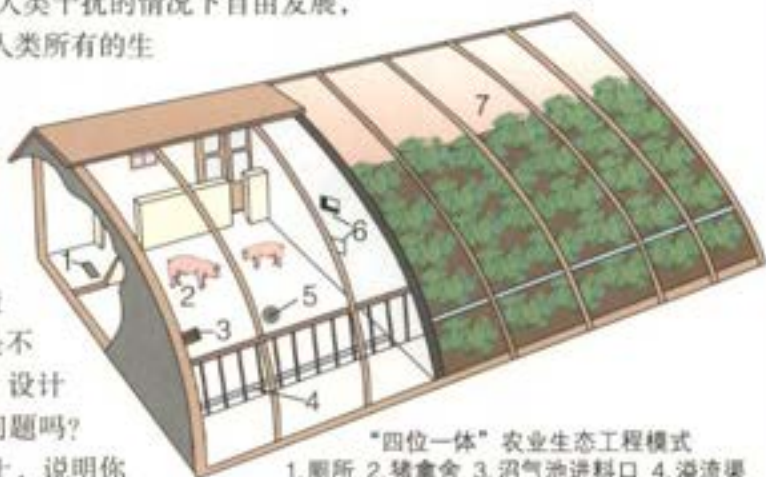


思考与探究

1. 分析以下材料，说明它所蕴涵的意义。

1953年朝鲜战争结束后，南北朝鲜以北纬38°为停火线，沿线两侧500多平方公里为非军事区，这里的地表经过战争的浩劫，几乎没有生物存在。40多年来，由于基本没有人类的活动，这里恢复了完全的自然状态。河水清澈、森林茂盛、物种繁多，还发现了14种被认为早已在朝鲜半岛灭绝的动物，包括东北虎和棕熊。美国科学家评论说：“全世界只有在这个地方，由于3000年以来的农耕文明突然终止，原始物种可以在没有人类干扰的情况下自由发展，这个地区的生态恢复情况大大超过了人类所有的生态建设所能达到的水平。”

2. 在我国北方地区，由于冬天气温很低，农作物不能生长，家畜生长缓慢，甚至停止，沼气池不能正常产气；而农民要解决蔬菜的不间断生产问题。很显然，大量使用造价昂贵，并用燃料加热的玻璃温室是不符合我国国情的。你能用所学知识，设计一种生态工程，来较好地解决上述问题吗？请在画出其物质和能量结构图的基础上，说明你所依据的生态工程原理。参考提示：可参照右图的“四位一体”（“四位”指沼气池、猪禽舍、厕所及日光温室四部分）模式考虑。



“四位一体”农业生态工程模式

1. 厕所 2. 猪禽舍 3. 沼气池进料口 4. 溢流渠
5. 沼气池 6. 通风口 7. 简易日光温室



进展追踪

通过报纸、杂志、互联网或其他媒体搜集资料，了解生态工程的新进展，就自己感兴趣的问题，自选选题，写一篇专题综述报告。

参考选题：1. 我国退耕还林、还草、还湖的进展情况；2. 水利工程与生态环境；3. 城市绿化的喜与忧；4. 全球意识下的可持续发展。



定量评估我国陆地生态系统的固碳效应

工业革命后，人类排放的二氧化碳等温室气体剧增，已经对全球气候产生了重要影响。研究表明，陆地生态系统吸收、固定二氧化碳（固碳）可以有效减缓大气中二氧化碳浓度的升高。摸清我国陆地生态系统的固碳情况，是制定相关产业发展和环境保护对策、提高生态系统固碳能力的基础。不过，定量评估我国陆地生态系统的固碳情况，以及重大生态工程建设所产生的固碳效应却十分困难。

2011年，我国启动“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”研究，其中包括陆地生态系统固碳方面的研究。来自35家研究机构的350多名科研人员，在方精云院士和于贵瑞研究员的带领下，开展协同攻关。研究团队通过5年的艰苦努力，在我国各类陆地生态系统中调查样方17 000多个、采集各类植物和土壤样品超过60万份，系统分析和查明了我国陆地生态系统的碳储量、变化及其分布，在国内外产生了重要影响。2018年4月17日，中国科学院举行该研究的重要成果发布会。以下是该研究取得的部分代表性成果。

一是查明我国陆地生态系统在过去几十年一直发挥着重要的固碳作用。例如，2001—2010年，我国陆地生态系统年均固碳2.01亿吨，相当于抵消了同期我国化石燃料碳排放量的14.1%；其中，森林生态系统是固碳主体，贡献了约80%的固碳量。二是首次在国家尺度上用直接证据证明人类的有效干预能提高陆地生态系统的固碳能力。例如，我国建设重大生态工程（如天然林保护工程、退耕还林工程等）和实施秸秆还田措施，分别贡献了陆地生态系统固碳总量的36.8%和9.9%。本研究还揭示了生物多样性与生态系统生产力和土壤碳储量之间的相关性，证实了增加生物多样性不但能提高生态系统的生产力，而且可以增加土壤的碳储量。

该研究成果不仅为验证和发展相关的生态学基本理论、评估生态系统对未来环境变化的响应提供了基本数据，也为我国应对气候变化的国际谈判提供重要支撑，为建设“美丽中国”助力。



专题小结



生态工程：人类应用自然生态系统、系统学等学科的基本原理和方法，通过系统设计和调控技术组装，对已被破坏的生态环境进行修复、重建，对造成环境污染和破坏的传统生产方式进行改善，并提高生态系统的生产力，追求生态、经济、社会效益的统一。生态工程遵循物质循环再生、物种多样性、协调与平衡、整体性等基本原理。生态工程在实践中得到了广泛应用，但生态工程不能解决所有的环境问题，不能走“先污染、后治理”的道路。

生态学是生态工程的科学基础，只有在透彻研究自然界生态规律的基础上，紧密结合社会的发展需要，才能提出系统可行的生态工程措施，为人类社会的可持续发展以及与自然和谐共处服务。



书海导航

1. 生态经济。莱斯特·R·布朗著（中译本），北京：东方出版社，2002年。
2. 可持续农业导论。程序，曾晓光，王尔大，北京：中国农业出版社，1998年。
3. 生态城市建设与自然平衡的人居环境。[美]理查德·瑞吉斯特著，王如松，胡聃译，北京：社会科学文献出版社，2002年。



人教版®

后 记

根据教育部制订的普通高中各科课程标准(实验),人民教育出版社课程教材研究所编写的各学科普通高中课程标准实验教科书,得到了诸多教育界前辈和各学科专家学者的热情帮助和大力支持。在各学科教科书终于同课程改革实验区的师生见面时,我们特别感谢担任教科书总顾问的丁石孙、许嘉璐、叶至善、顾明远、吕型伟、王梓坤、梁衡、金冲及、白春礼、陶西平同志,感谢担任教科书编写指导委员会主任委员的柳斌同志和编写指导委员会委员的江蓝生、李吉林、杨焕明、顾泠沅、袁行霈等同志。并在此感谢所有对本套教材提出修改意见、提供过帮助和支持的专家、学者、教师和社会各界朋友。

我们还要感谢使用本套教材的实验区的师生们。希望你们在使用本套教材的过程中,能够及时把意见和建议反馈给我们,对此,我们将深表谢意。让我们携起手来,共同完成教材建设工作。我们的联系方式如下:

电话:010-58758367

E-mail:jcfk@pep.com.cn

人民教育出版社 课程教材研究所
生物课程教材研究开发中心

人教版®