



国外优秀生命科学教材译丛

基因克隆和 DNA 分析

(第4版) **中文版**

Gene Cloning and DNA Analysis

An Introduction

● T. A. Brown

● 魏 群 黄 昭 姚斯研 李 欣 胡丽娅 译



高等教育出版社
Higher Education Press

内 容 提 要

本书清楚地阐述了分子生物学基本技术如基因克隆、基因表达、PCR、基因组学等的原理,全书深入浅出,读者在没有太多分子生物学基础知识的情况下,也能够理解这些知识。同时又生动地介绍了基因克隆和 DNA 分析在基础研究、医学、农学、法医学等领域中的实际应用。

本书适合作为大专院校生物学系及农林医药工院校教学参考用书,也可供生命科学有关研究人员、企业人员和中学生物教师及有兴趣了解当代生命科学的人士阅读。

译者序

本书的第一版本——《基因克隆》是16年前生物科学领域中一本广为流传的入门读物,随着分子生物学的飞速发展,它的许多其他技术日益显示出其重要作用,这促成了今天第四版的诞生,在这一全新的版本《基因克隆和DNA分析》中,英国曼彻斯特理工大学分子生物学系的Terry Brown教授再一次为生命科学各个领域的初学者提供了一本介绍性的入门书籍。

在保留了前几版风格的基础上,《基因克隆和DNA分析》清楚地阐述了分子生物学基本技术如基因克隆、基因表达、PCR、基因组学等的原理及其应用,全书深入浅出,读者在没有太多分子生物学基础知识的情况下,也能够理解这些知识。本书同时又生动地介绍了基因克隆和DNA分析在基础研究、医学、农学、法医学等领域中的实际应用。

目前以分子生物学技术为代表的生物技术日新月异。它已成为研究各生命学科的工具并渗透到生命科学的各个领域,极大地推动了生命科学的发展,深刻地影响到人类的生活和社会。特别是最近人类基因组、后基因组研究发展迅速,人类将从分子水平上认识人类自身,全面揭开生命现象的本质。

我们在给高等学校的学生讲授分子生物学理论和指导分子生物学实验的同时,深感一本对各学科学生讲述分子生物学技术基本原理及应用书籍的重要性。本书既简明浅显又全面透彻地讲述了分子生物学技术及其在众多领域中的应用,给各个领域的学生提供了一本清楚的、介绍性的入门书籍,其中涵盖了遗传学、基因组学、分子生物学、生物化学、免疫学和一些具体应用的知识。

本书适合作为大专院校生命科学学院及农林医药工院校教学参考用书,也可供生命科学有关研究人员、企业人员和中学生物教师及有兴趣了解当代生命科学的人士阅读。

译者

2003年3月

于北京师范大学

第四版序言

15年前,当这本书第一版发行的时候,基因克隆还是一门崭新的技术,并立刻成为几乎所有DNA研究的基础。而今,非克隆手段——聚合酶链反应(PCR)——也变得同样重要了,第四版的新标题就反映出了这些改变,但这并不意味着本书所秉承的理念也会随之变化。它仍是一本介绍性的入门书籍,而且在阅读本书之前并不需要读者对研究基因和基因组的技术耳熟能详。

与1996年的标题相比,这个新标题含义的广度得到了拓展。新版本加入了两个全新的章节,同时也作了一些结构上的调整。第一个新章节中将介绍测序基因组的方法以及目前人们对其序列的理解。这一章中不仅仅是介绍大批量测序的方法和结果,它还将系统阐述组装毗连序列的策略、从基因组中鉴定基因的方法、研究转录组学和蛋白质组学的技术等。第二个新章节是全书的最后一章,其中我们将谈及基因克隆和DNA分析在法医学中的应用,这些内容不仅是当前学生中流行的话题,而且还对DNA分析的实际应用做出了很好的诠释。

有关PCR技术的章节,在结构上作了较大的调整,它们将出现在本书的第一部分中,这样,在第二、三部分中我们就能更为从容地阐述PCR技术在科研及其在生物技术中的应用。同时,我还对其他一些小段落作了调整,希望这样能够使文章更为流畅易懂。与以往一样,新版本中更新了某些概念和信息,并订正以前版本中的错误。

曾经有一段时间,我怀疑本书的第四版是否有必要出版。在我疑虑重重的时候,是Blackwell Science的Nigel Balmforth让我最终下定决心继续工作,在这里我要感谢他。同时还要感谢我的同事Lubomira Stateva和Keri Brown,他们慷慨地提供了多年的教学资料供我参考,本书第三部分中某些新内容的框架就来源于此。在序言的最后,我似乎总是要提及撰写新版本的工作有多么的辛苦,但是说句真心话,我一直是乐在其中的。

T. A. Brown

Department of Biomolecular Science 分子生物学系

UMIST 曼彻斯特理工大学

Manchester 曼彻斯特

目 录

第一部分 基因克隆和 DNA 分析的基本原理	1
第 1 章 为什么说基因克隆与 DNA 分析非常重要	3
1.1 遗传学的早期发展	3
1.2 基因克隆和聚合酶链反应(PCR)的出现	3
1.3 什么是基因克隆	4
1.4 什么是 PCR	5
1.5 为什么基因克隆和 PCR 如此重要	7
1.6 如何使用这本书	10
参考文献	11
第 2 章 基因克隆的载体——质粒和噬菌体	12
2.1 质粒	12
2.2 噬菌体	16
参考文献	23
第 3 章 从活细胞中纯化 DNA	24
3.1 全细胞 DNA 的制备	24
3.2 质粒 DNA 的制备	32
3.3 噬菌体 DNA 的制备	38
参考文献	43
第 4 章 DNA 纯化后的利用	44
4.1 DNA 操作酶的范围	44
4.2 切割 DNA 的酶——限制性内切酶	50
4.3 连接——将 DNA 分子连接到一起	62
参考文献	70
第 5 章 将 DNA 引入活细胞	71
5.1 转化——使细菌细胞获取 DNA	73
5.2 重组体的鉴定	76
5.3 将噬菌体 DNA 引入细菌细胞	80

5.4	重组噬菌体的鉴别	83
5.5	非细菌细胞的转化	84
	参考文献	86
第6章	大肠杆菌的克隆载体	87
6.1	基于大肠杆菌质粒的克隆载体	87
6.2	基于 M13 噬菌体的克隆载体	93
6.3	基于 λ 噬菌体的克隆载体	99
6.4	λ 载体和其他高容量的载体使基因组文库得以建立	105
6.5	其他细菌的克隆载体	106
	参考文献	106
第7章	真核生物的克隆载体	107
7.1	酵母和其他真菌的载体	107
7.2	高等植物的克隆载体	113
7.3	动物的克隆载体	121
	参考文献	125
第8章	怎样获得特定基因的克隆	126
8.1	筛选的难题	126
8.2	直接筛选目的基因	128
8.3	从基因文库中鉴定克隆	130
8.4	鉴定克隆的方法	133
	参考文献	143
第9章	聚合酶链反应(PCR)	145
9.1	PCR 简介	145
9.2	PCR 的更多细节	147
9.3	Taq 聚合酶的错误率问题	155
	参考文献	156
第二部分	基因克隆和 DNA 分析在研究中的应用	157
第10章	基因的位置和结构的研究	159
10.1	如何定位一个基因	159
10.2	DNA 测序——预测基因的结构	164
	参考文献	173
第11章	基因表达和功能的研究	174
11.1	克隆基因转录的研究	174
11.2	基因表达调控的研究	181
11.3	鉴定和研究克隆基因的翻译产物	188
	参考文献	196
第12章	基因组研究	198

12.1 基因组学——怎样进行基因组测序	198
12.2 后基因组学——试着理解基因组的序列	208
12.3 转录物组和蛋白质组的研究	211
参考文献	215

第三部分 基因克隆和 DNA 分析在生物技术中的应用	217
第 13 章 克隆基因的表达	219
13.1 在大肠杆菌中的外源基因表达载体	221
13.2 在大肠杆菌中表达重组蛋白存在的问题	228
13.3 真核细胞中重组蛋白的表达	230
参考文献	234
第 14 章 基因克隆和 DNA 分析在医学中的应用	236
14.1 重组药物的生产	236
14.2 人类疾病相关基因的识别和鉴定	244
14.3 基因治疗	248
参考文献	250
第 15 章 基因克隆和 DNA 分析在农业中的应用	252
15.1 植物基因工程中的基因添加	252
15.2 基因消减	257
15.3 转基因植物的问题	261
参考文献	263
第 16 章 基因克隆和 DNA 分析在法医学中的应用	264
16.1 利用 DNA 分析鉴定犯罪嫌疑人	264
16.2 利用 DNA 指纹图谱分析血缘关系	267
16.3 通过 DNA 分析进行性别鉴定	269
参考文献	271
术语表	272
索引	283

第一部分

基因克隆和 DNA 分析的 基本原理

为什么说基因克隆与 DNA 分析非常重要

19 世纪中叶, Gregor Mendel 通过阐明一组法则来解释生物性状的遗传现象。而这些法则都建立在这样一个基本假设下, 即: 生物体的每个可遗传的性状都是由一个被称作“**基因**”(gene)的、以物质颗粒的形式存在于细胞的某个部位的因子所控制。Mendel 法则在 19 世纪被重新发现, 标志着**遗传学**(genetics)的诞生, 从这以后, 理解并掌握这些控制遗传性状的基因的结构和功能就成为了这门学科前进的方向。

1.1 遗传学的早期发展

在最初的 30 年里, 这门新出现的学科以令人吃惊的速度向前发展着: W. Sutton 首先于 1903 年提出了基因是定位于**染色体**(chromosomes)上的假设, 随后在 1910 年, 这一假设得到了 T. H. Morgan 的实验证实; 接下来, Morgan 和他的同事们开发出了**基因制图**(gene mapping)技术, 并通过这一技术于 1922 年取得了对果蝇全部 4 条染色体上的 2 000 多个基因相对位置的全面分析。

但除了这些经典遗传学研究的辉煌成果外, 直到 20 世纪 40 年代, 人们仍然没有认识到基因的本质。事实上, 直到 Avery, MacLeod 和 McCarty 在 1944 年的试验以及 Hershey 和 Chase 在 1952 年的试验出现前, 没有任何人会相信脱氧核糖核酸(DNA)是遗传物质, 因为在这之前, 人们普遍认为基因是由蛋白质构成的。DNA 所扮演的角色的发现给遗传学研究带来了巨大的促进, 许多这个时期著名的生物学家(Delbrück, Chargaff, Crick 以及 Monod 是其中最有力影响的)都为遗传学的第二个发展高峰做出了杰出的贡献。这一时期的成果是惊人的: 在 1952—1966 年这 14 年间, DNA 的结构被精确地表述, 遗传密码被破解、转录和翻译的过程也得到了描述。

1.2 基因克隆和聚合酶链反应(PCR)的出现

经过一段时间的活跃发展之后, 遗传学迎来了一个平静的发展时期, 因此一些分子生物学家(一些新的年轻遗传学家这样称呼自己)对这一时期没有出现非常重要的进展感到无法理解。实际上,

在当时 20 世纪 60 年代的后几年,实验技术的精确性不足以满足对基因的更加细致的研究,这成为了当时遗传学发展的最大“瓶颈”。

然而,在 1971—1973 年这 3 年间,遗传学研究又重新开始了新一轮的迅猛发展,这一切都要归功于当时实验生物学上的革命性进展。一整套全新的实验技术方法论被提了出来,使得原来不可能进行的实验可以被设计和实施,尽管这些实验也不是轻而易举的,但至少可以获得成功。这些新的方法,有时被称作**重组 DNA 技术**(recombinant DNA technology),有时也被称作**基因工程**(genetic engineering),其核心就是基因克隆,它们的出现标志着另一个遗传学伟大时代的到来。由基因工程发展而来的快速有效的 DNA 测序技术使得个体基因的结构确定成为可能,而这一切发展因为大规模基因组测序计划的出现而达到了顶峰,其中也包括已于 2000 年完成的人类基因组计划。而由基因工程发展出来的研究个体基因调控的方法,也使得分子生物学家们了解到基因调控的失常将有可能导致一系列的人体疾病,比如癌症。由重组 DNA 技术衍生出了**生物工程学**(biotechnology),从而使得利用基因生产蛋白质及其他医药和工业过程所需的化合物变成了现实。

在 20 世纪 80 年代,当人们还沉浸在基因克隆革命所带来的激动之中的时候,谁也不会想到,另一个同样新颖、同样革命性的实验技术已出现在眼前。根据有关 DNA 的民间传说,1985 年某一天晚上, Kary Mullis 在驾车沿着 California 海岸线兜风时,灵机一动,发明了**聚合酶链反应**(polymerase chain reaction, PCR)。这一灵感所带来的结果就是:这项非常简单的技术,作为基因克隆的完美补充,在分子生物学的发展上发挥了关键的作用。PCR 相对于许多传统的基因克隆方法,把可能实现但相当困难的实验变得相对简单。它拓展了 DNA 分析的研究范围,使得分子生物学在其传统的应用领域如医学、农业、生物工程学之外找到了新的位置,就像分子生态学、生物分子考古学以及 DNA 法医学应用一样,很多新兴学科都随着 PCR 的诞生而出现,并且分子生物学家们正在设计一些新的利用 DNA 的方法,来解释人类进化以及外界环境变化对生物圈的冲击等问题。在基因克隆革命后的 30 年间,就像一直踩着溜冰鞋高速向前滑行一样,令人激动的事情始终都在眼前不断发生。

1.3 什么是基因克隆

基因克隆实验的基本步骤见图 1-1。

(1) 一段包含有需要克隆的目的基因的 DNA 片段,被插入到一个被称作**载体**(vector)的环状 DNA 分子中,生成一个**嵌合体**(chimera)或称作**重组 DNA 分子**(recombinant DNA molecule)。

(2) 载体作为一个**运载体**(vehicle)将目的基因转运到一个宿主细胞中,通常是一个细菌,但也能够使用其他种类的活细胞。

(3) 载体在宿主细胞内增殖,产生大量同一的拷贝,不仅包括载体本身的基因,也包括它所携带的外源基因。

(4) 宿主细胞繁殖时,重组 DNA 分子的拷贝转移到子细胞中,随着载体进行进一步复制。

(5) 在多次细胞分裂后,一个由相同细胞组成的细胞群体,或称作一个克隆,被生产出来,每一个细胞都包含一个或多个重组 DNA 分子的拷贝,此时我们说重组分子所携带的目的基因此时就被克隆了。

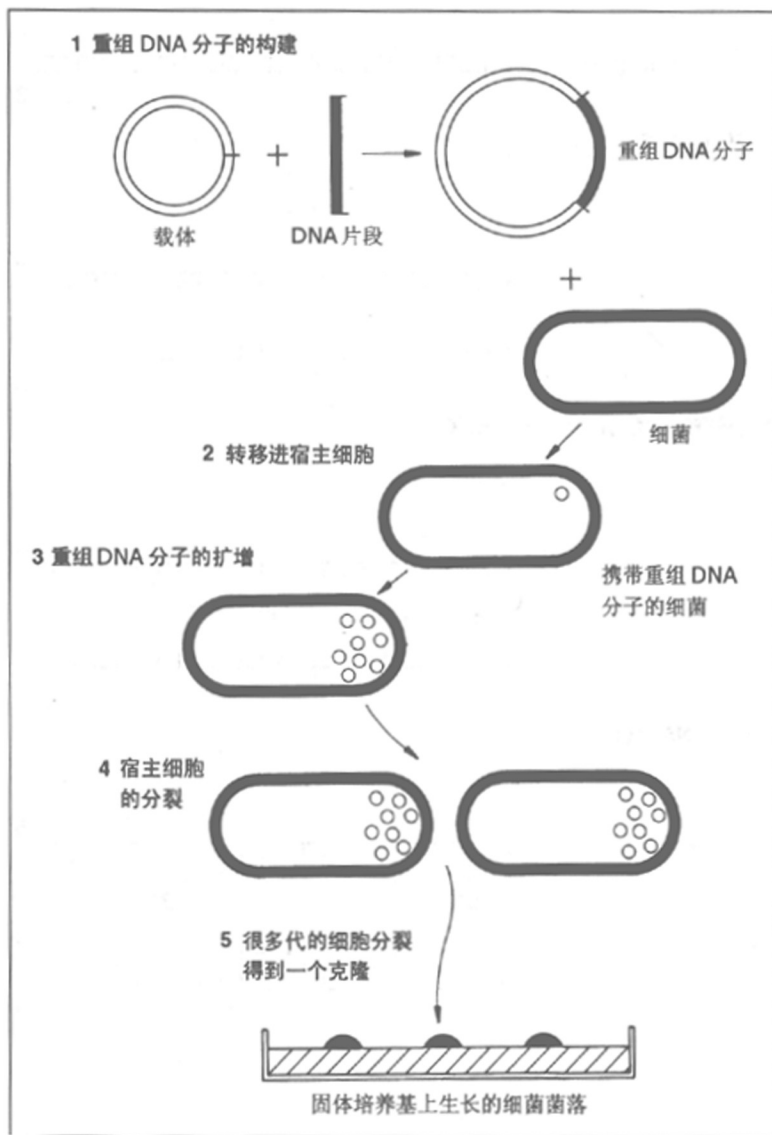


图 1-1 基因克隆的基本步骤

1.4 什么是PCR

PCR 与基因克隆有着很大不同,PCR 不是在活细胞内的一系列操作,而是在一个仅仅混有 DNA 和一组反应物的普通试管中进行的:该试管被置于一个热的容器中,这个设备能够以一种预先设定好的方式使反应混合物在一系列变化的温度中进行反应。PCR 实验的基本步骤如下(图 1-2):

(1) 混合物被加热到 94°C ,在该温度下,原本使 DNA 双螺旋的两条链结合在一起的氢键被打破,导致 DNA 分子变性(denature)。

(2) 混合物被冷却到 $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$,每个分子的两条双链能够在该温度下重新结合,但这种情况不大可能发生,因为混合物中含有大量的短 DNA 分子,称作寡核苷酸(oligonucleotides)或引物(pri-

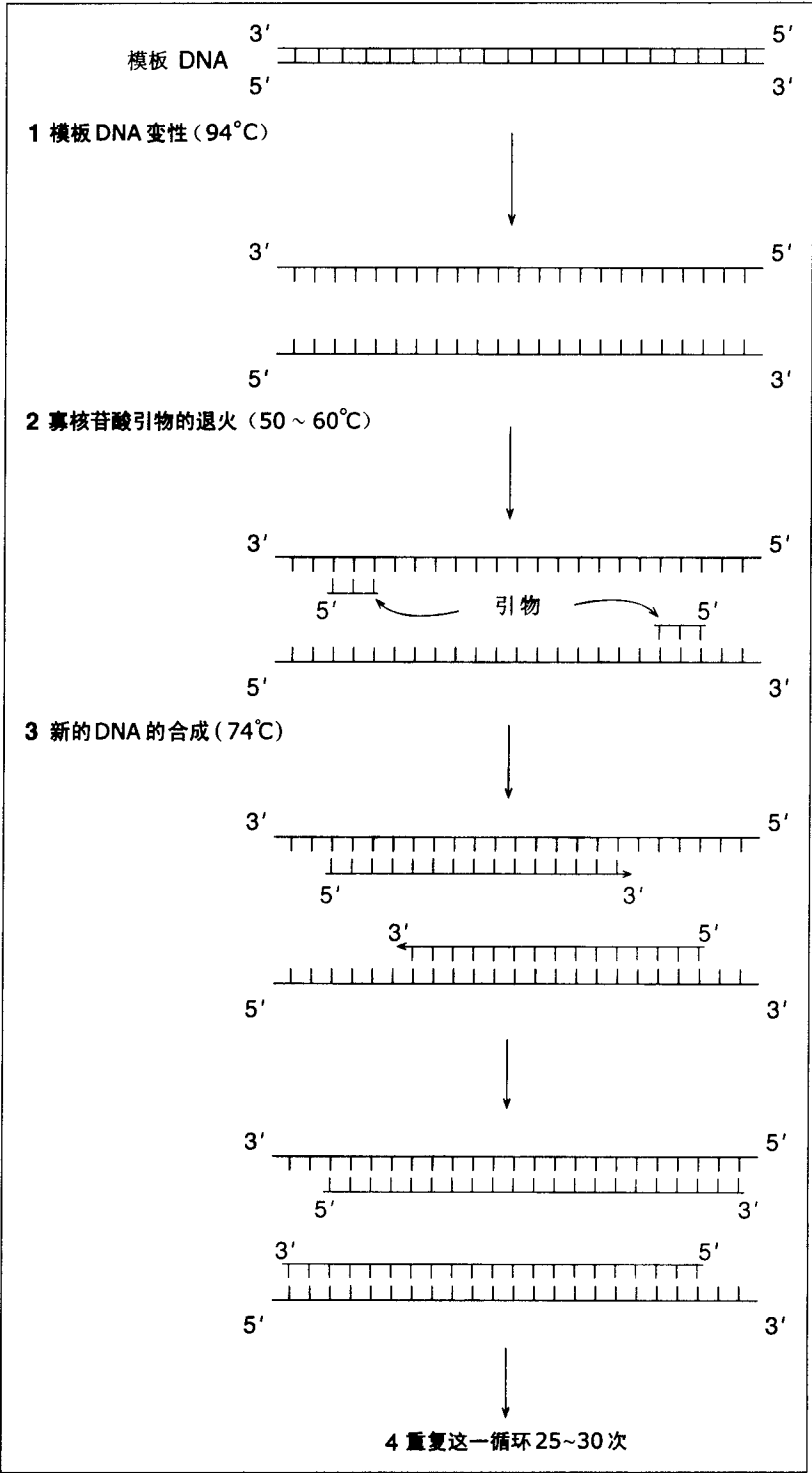


图 1-2 聚合酶链反应的基本步骤

mer), 它们与长链 DNA 分子在特殊位点发生退火(anneal)。

(3) 接着温度又被升高到了 74℃。这是混合物中所加 **Taq DNA 聚合酶**(*Taq* DNA polymerase) 的最适工作温度。本书 4.1.3 将介绍更多有关 **DNA 聚合酶**(DNA polymerase) 的知识。这里所要知道的就是:*Taq* DNA 聚合酶能够连接到每条引物的某一端并合成与模板(template) DNA 互补的新链。这样与刚开始的两条链相比, 我们就有了 4 条 DNA 链, 实现了一次倍增。

(4) 接下来温度又被升到了 94℃。每一个双链 DNA 分子, 都同时含有一条原来的链, 而另一条链是新合成的。这些双链 DNA 分子变性成为单链, 又开始了第二轮变性-退火-合成的循环, 并随之产生 8 条 DNA 链。在重复这一循环达 25 次后, 我们在反应开始时用到的双链 DNA 分子将变成超过 5 千万的新的双链分子, 其中每一个双链都是初始分子某个区段的拷贝, 具体是哪个区段是由退火时引物所处的位点决定的。

1.5 为什么基因克隆和PCR 如此重要

从图 1-1 和图 1-2 可以看出, 无论是基因克隆还是 PCR 的实验步骤都相当的简单和容易掌握, 可为什么这样简单的实验技术却在生物学研究中占有如此重要的地位呢? 答案主要是因为这两项实验技术都提供了一种纯净的基因样品, 这种基因样品来源于个体细胞并且能够和细胞中的其他基因相区别。

1.5.1 通过克隆对基因进行分离

要想确切了解基因克隆是怎样提供出纯净的基因样品的, 需要再次提到图 1-1 的实验并且稍做改动(图 1-3)。在这个例子中所要克隆的 DNA 片段来源于一个由不同片段组成的混合物, 每个片段都带有不同的基因或同一基因的不同部分。这个混合物甚至也可以是一个机体(比如人)的全部遗传互补序列。每个片段都会被连接到不同的载体分子, 产生一个重组 DNA 分子家族, 其中的一个重组分子携带有我们所感兴趣的目的基因。通常情况下, 每个宿主细胞只能够被一个重组 DNA 分子所转化, 因此尽管最后所得到的克隆产物可能包含有许多不同的重组 DNA 分子, 但所形成的每一个克隆所包含的是单一分子的多个拷贝, 这样一来, 基因就从最初的混合物中与其他基因实现了分离, 也就能够对它的特殊性质进行更加详细的分析。

实际上, 决定基因克隆试验是否成功的关键, 在于能否从最初得到的许多不同基因中鉴别出感兴趣的特定基因。比如说, 当拿到一个包含有超过 4 000 个不同基因的大肠杆菌基因组(genome)的时候, 我们也许就会对如何从这么多可能的克隆中找到一个基因感到困扰(图 1-4)。而当我们想到细菌只是相对简单的生物, 人类的基因组所包含的基因数量更是 10 倍之多时, 问题似乎就变得更加严峻了。然而, 就像在第 8 章我们将要解释的那样, 通过种种不同的措施, 能够帮助我们确保在克隆实验结束的时候获得正确的基因克隆。这些措施中包含了对基础克隆步骤的改进, 使得只有包含所需要的重组 DNA 分子的细胞才能够分裂并且所需的克隆能够自动被筛选(selected)。还有其他一些方法可以从一大堆不同基因克隆混合物中鉴定出目的克隆。

一旦一个基因被克隆出来, 那么我们就可以几乎不受限制地得到关于这个基因结构和功能方面的相关信息。克隆产品在运用中使用到的一系列新的实验技术也刺激了基因研究分析方法学的进步。关于研究克隆基因产物的结构和功能的方法将在第 10 和 11 章分别进行介绍。

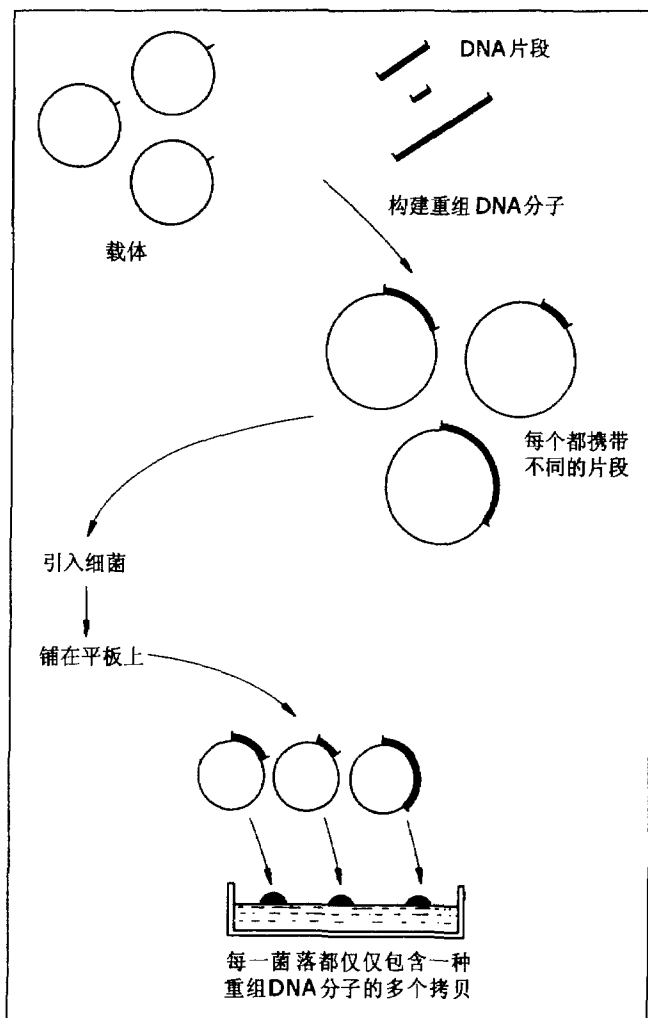


图 1-3 克隆使个体基因片段被纯化

1.5.2 通过 PCR 对基因进行分离

PCR 也能够被用来获得纯净的基因样品。这是因为,在 PCR 过程中被复制的初始 DNA 片段是一个两端由两条寡核苷酸链引物退火位点所标记的片段。如果引物在目的基因的两端都发生了退火,那么目的基因的大量拷贝就会被合成出来(图 1-5),结果就会产生与基因克隆相同的效果。而同时在对目的基因进行选择时所遇到的问题也并没有增加,因为在引物退火过程中进行位置选择时,就已经实现了目的基因的筛选。

一次 PCR 可以在数小时内完成,相对于即使用不了一个月也要花好几周才能完成的基因克隆要方便得多,但是,为什么基因克隆仍然在被人们使用呢? 这里就不得不提到 PCR 的两个局限性:

(1) 为了使引物能够在正确的位置与模板 DNA 实现退火,我们必须清楚目的基因两端将要发生退火的位点的序列。在已知序列的情况下,合成引物是件很容易的事(参见 8.4.3),但是如果对要进行退火的位点的序列并不清楚,那么也就无法制造出合适的引物。这就意味着,PCR 不可能用来对

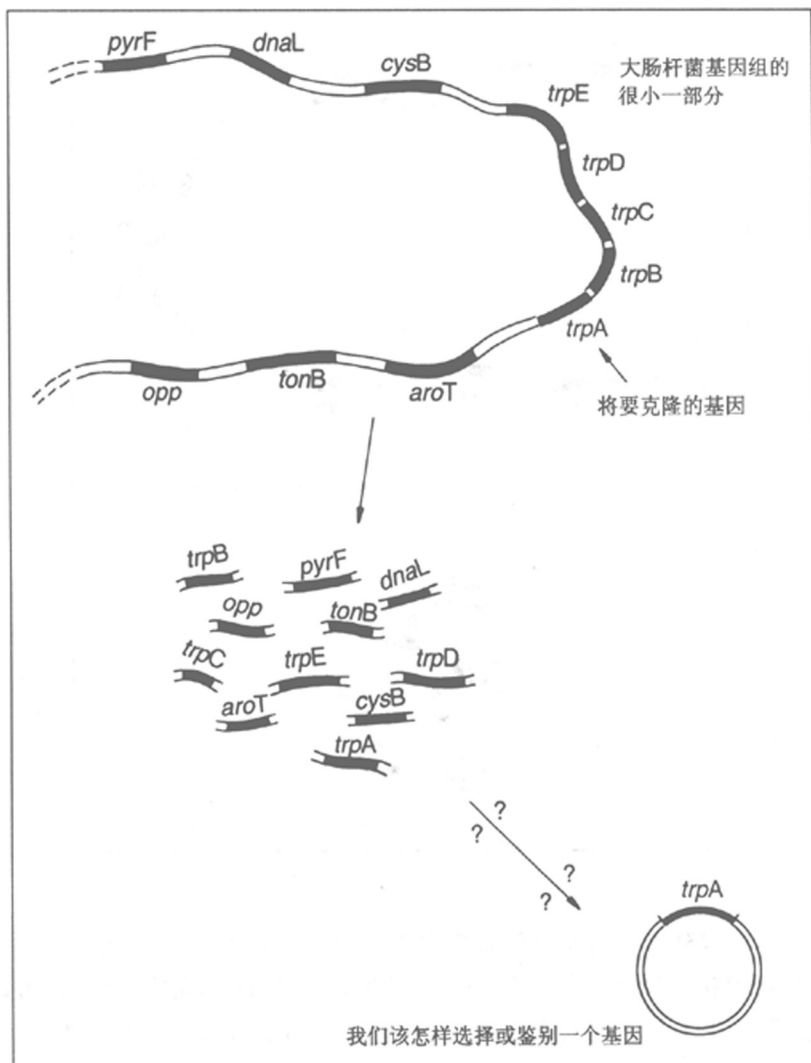


图 1-4 选择时要面对的问题

一些从未进行过研究的基因进行分离,而这就要用到基因克隆技术。

(2) 利用 PCR 进行扩增的 DNA 序列在长度上受到一定的限制。通常 5 kb 的片段能够顺利地进行复制,而长度达到 40 kb 的片段在复制时就要采用一些特殊的技术处理,但 40 kb 对于许多基因来说还是太短了,尤其是人类和其他哺乳类动物的一些基因。如果需要的是一个长的基因的完整的拷贝,那么就必须使用基因克隆技术。

因此基因克隆是分离长的或从未进行过研究的基因的惟一方法。但是 PCR 在这方面仍然还有许多重要的应用。比如说,即使对一个模板基因的序列并不清楚,仍然有可能制造一对合适序列的引物进行扩增,这样做的前提是要知道在其他生物体中起相同作用基因的序列,具体来说,就是可以根据从老鼠中分离并测序的基因,来设计一对合适的引物,从而达到分离人类细胞中具有相同作用基因的目的。

此外,在许多应用中都有必要对已知序列的基因进行分离和探测。比如,人体球蛋白基因的

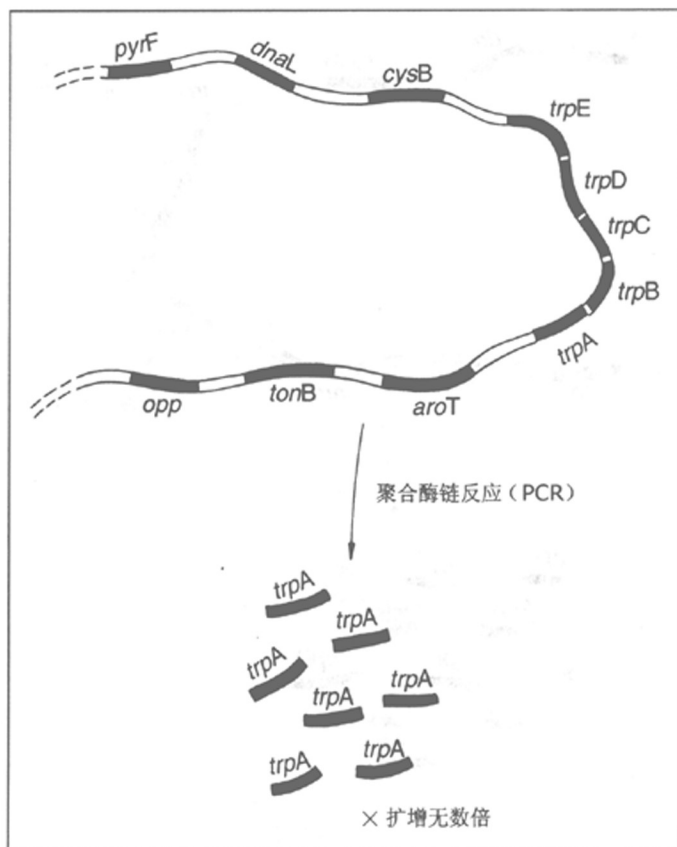


图 1-5 通过 PCR 分离基因

PCR, 可被用来检测可能导致地中海贫血的基因突变。为这个 PCR 设计适当的引物是一件很简单的事, 因为人类球蛋白的基因是序列已知并得到充分研究的。在 PCR 完成之后, 就可以利用其他方法对基因拷贝进行测序或进一步研究, 以判断是否存在导致地中海贫血的基因突变。

PCR 的另一临床应用是关于专用于致病病毒 DNA 的引物的。一个阳性结果可以显示出某个样品包含该病毒, 而提供该样品的人在经历一定治疗后能够防止该疾病的发作。PCR 灵敏度极高: 经过仔细建立的反应能够获得可检测量的 DNA, 即便在最初的反应混合物中只有一个需要扩增 DNA 分子。也就是说, 这项技术能够在病毒感染的最初阶段就将其检测出来, 增加了治愈此疾病的机会。这种高度灵敏性意味着 PCR 也能够用于扩增法医鉴定时涉及的 DNA, 比如来源于头发和干了的血迹, 甚至已死去很久的人的骨骼。

1.6 如何使用这本书

本书向大家解释了基因克隆、PCR 以及其他一些 DNA 分析技术是如何实施的, 并描述了这些技术在现代生物学中的应用状况。关于这些应用的介绍是接下来第二和第三部分需要详细说明的。第二部分主要介绍基因和基因组方面的研究进展, 第三部分对基因克隆和 PCR 在生物技术中的广泛应用进行了全面说明。