



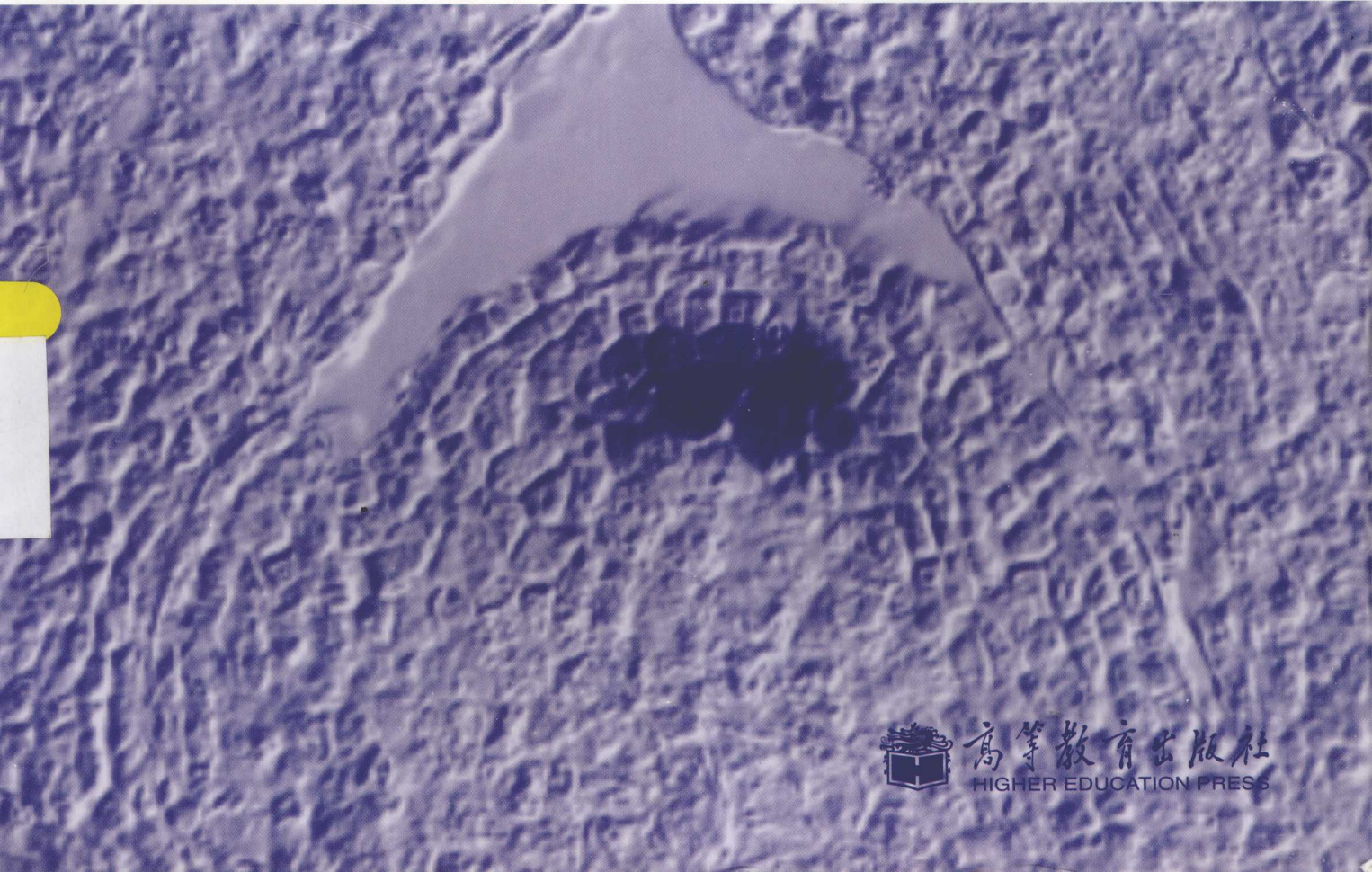
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

现代分子生物学

第4版

Modern Molecular Biology
(4th Edition)

朱玉贤 李毅 郑晓峰 郭红卫 编著



 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



013028095

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

Q7
07-4

现代分子生物学

第4版

朱玉贤 李毅 郑晓峰 郭红卫 编著



Q7
07-4

内容提要

全书分 11 章, 分别对染色体结构、DNA 的复制形式与特点、DNA 的转座、遗传密码的破译、蛋白质的合成和运转、基因表达调控的原理、癌症与癌基因活化、免疫缺陷病毒(HIV)的分子机制等现代分子生物学基本问题做了全面系统的分析, 其中第 3、4 两章回顾了从 DNA 到 RNA 以及从 mRNA 到蛋白质的生物信息流, 第 7、8 两章分别叙述了参与原核、真核细胞基因表达调控的各种元件, 探讨了 DNA 甲基化、蛋白质磷酸化、乙酰化修饰及各种不同环境因子对基因活性和功能的影响, 第 9、10 两章集中讨论了疾病与人类健康、基因与发育等重要生命现象的分子生物学基础, 第 11 章讨论了基因组学与比较基因组学的最新研究成果。此外, 本书还在第 5、6 两章阐述了基本的分子生物学实验的技术和原理。本书可供全国高等院校生物科学和生物技术专业的教师和学生使用, 也可作为相关专业研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代分子生物学 / 朱玉贤等编著. —4 版. —北京: 高等教育出版社, 2013.1
ISBN 978-7-04-035158-3

I. ①现… II. ①朱… III. ①分子生物学-高等学校-教材 IV. ①Q7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 009020 号

Xiandai Fenzi Shengwuxue

策划编辑 王莉 吴雪梅 责任编辑 孟丽 书籍设计 张志奇 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	涿州市星河印刷有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	880mm×1230mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	32	版 次	1997 年 3 月第 1 版
字 数	700 千字		2013 年 1 月第 4 版
插 页	2	印 次	2013 年 1 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	65.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 35158-00

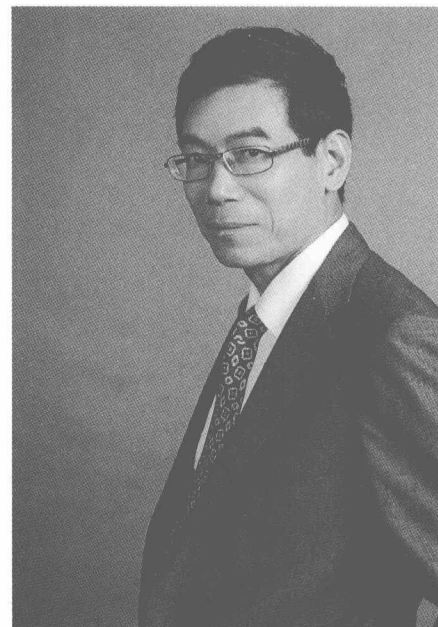
当你进入实验室时，
要像脱去外衣那样放下你的想象力，
因为实验操作中不能有一丁点儿的想象，
否则，
你对事物的观察就会受影响；
当你翻开书本的时候，
你又必须尽可能展开想象的“翅膀”，
否则，
你就不可能走在别人的前面。

Modern Molecular Biology

(4th Edition)

主要作者简介

朱玉贤，男，中国科学院院士，北京大学教授、博士生导师，蛋白质与植物基因研究国家重点实验室主任。1989年12月在美国康奈尔大学获得博士学位。先后在美国华盛顿大学和北京大学从事博士后研究。1997年获得国家自然科学基金委“杰出青年科学基金”资助，2001年获教育部“长江特聘教授”称号，2003—2009年担任国家自然科学基金委“创新研究群体”主持人。主持多项国家级科研项目。除《现代分子生物学》外，还著有《分子生物学实验技术》，译有《PCR传奇》和《细胞的起源》。



第4版前言

大约在1965年,已故领袖毛泽东主席发表了一首题为《重上井冈山》的诗,其中有一句是,“三十八年过去,弹指一挥间”。当时我只是个十来岁的孩子,死活不能理解这句话,弹了多少遍指头,自己仍然只是一个三年级的小学生!晕倒!!看起来,时间这个东西,只有过来人才能理解。所以,我敢说,写出“逝者如斯夫”——用滔滔不绝的河水来形容时间转瞬即逝——以及总结出“光阴似箭,日月如梭”俗语的可能都是老年人。是啊,一眨眼的功夫,又是五年,又要修订再版《现代分子生物学》这本书了,否则,我的学生会被归入“念20年前写的教材,毕业要设计iPhone”一族。看起来,谁都不容易!

记得我在“第3版前言”中用了一多半的篇幅来鞭挞科学发展给环境、给地球母亲带来的伤害,出版社的编辑嫌我多事,而且好像还有点不务正业,想让我把这部分删去,我坚持不让。理由很简单:作为一个学者,我的文字全都贡献给自然科学研究了,除科研论文和极少量的科普文章之外,没有其他著述。“前言”是我跟我的学生思想交流的主要或者唯一渠道,我想借此说一些课堂上不能或者不愿说的话,说些我对自然科学以外的认知。如果碰巧其中的某些观点能被我的学生接受,成为他们世界观、人生观的一部分,那就是我的额外收获。如果学生们不同意我的看法,跳过“前言”就可以了,反正这几页纸上的内容永远不会考试。

人类其实处于远比我们能想象的更大的危险之中。首先,因为“人”处于自然界食物链的最高端,没有天敌能与人类相抗衡,到目前为止,人类是这个世界上最贪得无厌、不懂节制的生物,几乎可以在自然界为所欲为而不受制裁。我们永远追求更大更豪华装修的住房,更好更精致的美食,更快更强大功率的豪车,修更宽更长的高速公路或铁路。予取予求,完全从人类或者某个国家、某个地区、某个族群、某些个体的利益出发,很少甚至根本不考虑大自然的承受能力。根据欧盟的统计,为了长期维持地球表面宜居生态环境,人类将至少为投放到耕地上的每千克氮肥付出两倍当量的能源!

其次,人类将生育高峰期选择在20至30多岁之间,是个体体力发育最强大的阶段,明显有利于保证后代体格强壮,在简单的弱肉强食的竞争中生存下来。但是,人类社会发展到现阶段,智力、智商及受教育程度比拼已经成为生存竞争中的不二法门,导致年轻而自身智力尚未健全、阅历更显不足的父母亲在培养下一代的过程中完全迷失方向,大多在根本没有教会孩子最基本的生存生活技能的情况下就莫名其妙地开始了“不让孩子输在起跑线上”的智力游戏。而且,培养下一代这个试验不能多次重复(表面上看是国家不让,

其实是自然界不让),因为人类不可能像大多数动物和昆虫那样生一堆小崽子,再通过自然界优胜劣汰、适者生存规律传下去。所以,从根本上说,人类还无法搞定下一代培养这个盲区。

第三,不同利益群体之间的无序竞争。在人类社会,卖钙的一定会说人人都缺钙,卖锌的会说人人都缺锌,造三聚氰胺的会忽悠说能轻松搞定含氮量不足的问题。即使像“微软”、“苹果”这样的大企业,他们开发 WINDOWS 或“iPhone”等产品绝不是为了人类社会的进步,而是为了赚到更多的钱!至于电脑手机游戏有可能给人类社会带来多大的副作用,是否导致“孤独症”和“僵尸小孩”数量猛增,是否会进一步演变成不可逆转的社会问题,他们不在乎、不关心。人类社会的每一个成员如果不能每时每刻都保持专业级别的警惕性,那就只能上当受骗付学费。

绕来绕去说了这么多,其实是想告诉同学们,生活和学习一样,到处都是几乎没有答案的难题。一定要多思考,多角度深入思考,多问些为什么?青年女作家乔叶在一篇散文中写道:“鲁迅文学院‘小说’课的导师曾跟她们说,中国的小说家除了缺少细节,还缺少眼光和视野,缺少多端歧异的看问题的角度。我们之所以看得不清楚、不深入,那是因为我们根本没有认真看,没有认真观察;也可能是因为我们的眼光、角度太陈旧狭窄,无论是写农村或是写城市,都是就事论事。结果呢?我们的小说是薄的,因为我们想事想得薄……”看起来,文理科确实还是相通的,都讲究广度和深度。在这里,广度主要指对分子生物学整个学科的了解,做不到这一点,你就不可能有高屋建瓴的全局观,你就可能通不过考试这个最基本的环节。深度是指你是否对蛋白质、DNA 或 RNA 的某个领域产生了特殊的爱好,有旁人所不及的涉略。因为,“爱好”是推动人生不断进步的原动力,没有“爱好”,不能尽快发掘出你对某些领域的特殊“爱好”,你的人生之路就很难出彩。为了保证本书的深度,这一版吸纳了从事真核基因表达调控及信号转导研究的郭红卫教授,由他主笔修改第 8、10 和 11 章,相信他的研究经历会提高我们在这些方面的权威性,给读者带来新的感受。



2012 年 2 月 26 日写于燕园

第3版前言

我上小学的时候,有一句话特别风行,叫做“学好数理化,走遍天下都不怕”!当然,这话在“文革”的十年浩劫中与另一句同样广泛传播的俚语“龙生龙,凤生凤,老鼠生儿会打洞”一道受到严厉的批判,前者的罪名是“鼓励走白专道路”,后者的罪名则是“宣扬资产阶级血统论”。现在看来,“老鼠生儿会打洞”可能是生物学上一个永恒的命题,老鼠特有的DNA决定了它们的本能和生物学本质。一只老鼠,要是生而不能打洞,它的生存必将受到巨大的威胁,甚至不太可能活着离开父母的洞穴。

确实,直到20世纪后半叶,或者大致说直到整个20世纪结束以前,世界上的主要声音都是“科学推动社会进步”,都认为科学(特别是自然科学)是保证人类社会长期兴旺发达的最强大的动力。即使在20世纪30至40年代,中国处于军阀混战、外寇入侵、尸横遍野、民不聊生的凄惨境地,革命先驱们用以唤起普通民众的口号仍是“德先生(democracy)”和“赛先生(science)”(前者意为“民主”,后者意为“科学”)。

但是,对于地球——我们的母亲来说,科学其实更多地扮演了掠夺者、破坏者的角色。在过去的一二百年里,科学得到了突飞猛进的大发展,而我们的家园也在这一时期遭到了史无前例的大破坏。电能和动力机车的发明为化石燃料的大规模挖掘利用奠定了基础,滚滚向前的车轮、工厂的锅炉以及民居的取暖设施所释放的一氧化碳、二氧化碳和二氧化硫是导致全球性气候变暖的罪魁祸首;炸药和稍后发现的核裂变、核聚变理论则成为战争狂人征服世界的工具。虽说没有科学做后盾,一棍一棒、一刀一石也能杀人,也能演变成战争,但肯定不至于像现在这样动辄多少万吨级的炸药,炸你个遍地开花(!)没商量。此外,化肥、农药、塑料制品等数不胜数的科技成果在拓展人类生存空间、创造经济效益和生活便利的同时,也以令人难以置信的速度污染着环境,在不经意间剥夺了子孙后代生存繁衍的机会。

若干年前。我曾应邀参加美国某著名大学举办的一次学术年会,有学者报告指出,对地球生物圈而言,一共只有三类物种:植物、微生物和其他。不幸得很,人类,骄傲的人类,只能归属到“其他”一族。当时我备觉愕然。现在想起来,这个划分虽然有以偏概全之嫌,但确实有深层次的含义。因为我们对地球基本没有正向的贡献,没有给予,只有索取,无穷无尽的索取。在人类历史的长河中,我们追求从“必然王国”向“自由王国”的进步,吹嘘如何“认识世界”、“改造世界”,其目的却似乎永远只有一个:把地球改造得更适合人类居住和生活,顺便把废水和垃圾杂物或公开或悄悄地投入大江大海、山沟沓兑里,很少

意识到应该为地球、为我们生存的大环境做些什么。

或许有人说,21世纪是生命科学的世纪。因为,数学、物理学等实证科学(exact science)的进步不但带来了人类社会的物质文明,也带来了人口膨胀、环境污染、疾病猖獗、能源资源匮乏、生态平衡破坏等一系列前人所未有预料到的问题,而生命科学有可能成为解决这些问题的突破口。从20世纪下半叶开始,人类社会已经从崇尚实证科学逐步转变为注重分析科学(analytical science,包括生物学、计算机、信息科学、材料科学和环境、生态、资源保护等研究)和人文科学,强调“和谐社会”(这里首先指人与地球大环境的和谐)。没有这个“和谐”,人类社会的可持续发展就可能成为泡影。

基于上述思考,本书在第3版修订中突出强调了分子生物学的实验技术和原理,在“疾病与人类健康”一章中增加了关于人禽流感 and 严重急性呼吸系统综合征(SARS)分子机制的讨论。根据学科发展的最新动态,对第11章(原第10章)“基因组与比较基因组学”做了较大规模的修改和充实。考虑到最近十多年来RNA研究持续升温,这一版增加了主要从事RNA研究的郑晓峰为第三作者,由她负责对第2~4章进行修改。李毅仍然负责与疾病和发育相关的第9~10章。全书其他章节的修改均由朱玉贤完成。

要真正学好、弄懂分子生物学这门重要的实验科学,除了在书本上下工夫,理解并掌握其基本规律之外,一定要善于跟踪和研究最新的科技文献,因为这些新发现、新进展往往对于诠释学习中碰到的疑难问题有着举一反三、画龙点睛的作用。此外,实验操作是掌握分子生物学精髓的主要途径,经常动手做实验或设计一些新的实验程序,往往能起到事半功倍的效果。希望读者、特别是广大青年学生,逐步拥有新的科学意识,在追求科学真理、实现远大抱负、“不怕”面对人生之旅的同时,学会“换位思考”,用尊敬、崇尚和感恩的眼光看待大自然,让地球母亲在科学的呵护下生生不息!只有这样,科学才能不断得到发扬光大!

朱玉贤

2007年2月17日写于燕园

第2版前言

分子生物学(Molecular Biology)是研究核酸等生物大分子的功能、形态结构特征及其重要性和规律性的科学,是人类从分子水平上真正揭示生物世界的奥秘,由被动地适应自然界转向主动地改造和重组自然界的基础学科。因为分子生物学所关心的既不是存在于生物体内的每一种分子,也不是每一种大分子,它所关心的主要是核酸在细胞生命过程中的作用,包括核酸本身的复制、保存以及基因(核酸大分子中最基本的功能单位)的表达与调控规律,所以,这门学科其实应该被叫做核酸生物学(Biology of Nucleic Acid)。当年的学者们为了图省事或者图新鲜,就发明了现在这个名词。尽管不十分贴切,却是言简意赅,容易被接受和传播,非常符合新兴大众传媒学的口味。一旦被炮制出来,这个学科名就不胫而走,深入人心,再也无法改变了。

追根寻源,分子生物学研究可能起源于德国。1869年,Miescher首次从莱茵河鲑鱼精子中提取了DNA。1910年,Kossel第一次分离获得单核苷酸,揭开了核酸研究的序幕。可以把这短短的130多年大致分为前后两个时期。1940年以前属于奠基阶段,通过孟德尔、摩尔根等人的努力,科学家开始认识生命遗传的分子基础。1940年以后,在Griffith与Avery等人关于非致病菌发生遗传转化的实验、Hershey与Chase证实DNA是遗传物质的实验基础上,Watson和Crick提出了DNA反向平行双螺旋的结构模型,Jacob和Monod则提出了阐明原核基因表达调控的操纵子学说,分子生物学迅速进入了大发展时期。时至今日,这一学科已经成为全世界生命科学乃至整个自然科学的主流,因为只有用分子手段才能研究和解答生命科学每一个分支中的根本性问题,使人类掌握主动改造自然界的利剑,迎来生物学研究的新时代。

1991年,本书的主要作者朱玉贤回国时,国内尚无系统性的分子生物学教材。那时,我国高校中还存在是否应为本科生开设“分子生物学”课程的争论。但是,世界上大多数发达国家的大学里已经有了这门课程。作者相信,有必要用现代生物学研究中最先进、最精彩的知识和技术来武装自己的学生,以帮助他们从分子水平上认识生命的本质,为毕业后参与尖端科学研究创造条件。为此,我们决定写一本能综合生命科学在分子水平上所取得的研究成果、所发现的基本规律与原理、所提供的新思维、新方法的教科书,为培养分子生物学专业人才并规范我国的研究生入学考试打基础。

1997年,《现代分子生物学》第一次出版发行。北京大学根据国家教委的文件精神举办了第一届全国“现代分子生物学教学研讨会”,包括北京大学、清华大学、复旦大学、

中山大学、南京大学、南开大学和中国科技大学等全国重点院校在内的 30 多所高校派出 45 名骨干教师参加了研讨会。会议除交流现代分子生物学课程的教学方法、切磋教学经验之外,重点讨论了现代分子生物学的教学大纲和范畴,讨论了以《现代分子生物学》为基本教材进行本科生和研究生教学的可行性。到 2001 年,本书已连续重印 6 次,发行 4 万余册,成为国内许多高等院校本科生或研究生的主要教材。台湾艺轩图书出版社还在台湾和香港两地发行了繁体字版本,扩大了本教科书在世界上的影响。根据研讨会的精神,《现代分子生物学》第 2 版增加了果蝇体节发育、癌症和艾滋病的发生发展等内容,删去了第一版中有关植物分子生物学的大部分章节。新版本仍然分为十章,分别对染色体结构、DNA 的复制形式与特点、DNA 的转座、遗传密码的破译、蛋白质的合成和运转、基因表达调控的原理、癌症与癌基因活化、免疫缺陷病毒(HIV)的分子机制等重大问题作了全面系统的分析,其中第三至九章以较大篇幅叙述了参与原核、真核细胞基因表达调控的各种元件,探讨了 DNA 甲基化、蛋白质磷酸化及各种不同环境因子对基因活性和基因功能的影响,第十章则讨论了基因组学与比较基因组学研究的最新成果。

虽然我们在这次修订过程中力求全面、完整地反映分子生物学各领域的最新进展,但面对浩如烟海的文献资料,加上作者本人的水平和能力有限,归纳成书后疏漏及错误之处肯定不少,殷切希望读者批评指正。我们将在教学研究的过程中不断修正并完善本教材,使之成为广大青年学生成长道路上的伴侣和助手。

朱玉贤

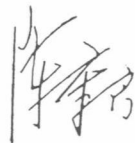
2002 年 2 月 15 日写于北大蓝旗营

第 1 版序言

本世纪初以来,生命科学所取得的巨大成就和进步。不但使生物学这门古老的学科焕发了青春,也使它在自然科学中的地位发生了革命性的变化。同时,生物学革命也为物理学、数学、化学、信息科学、材料与工程科学注入了大量新鲜血液。提出了数不胜数的新问题、新概念和新思路。它在各个科学之间广泛渗透,相互交叉,相互作用,极大地推动了科学的发展。种种迹象表明,生物学已经成为带头学科之一,领导着世界科技大军走向 2000 年。

可以说,任何自然科学研究都没有比人类彻底认识自己,了解自己,找出解决自身所面临的人口膨胀、粮食短缺、环境污染、疾病猖獗、能源资源匮乏、生态平衡被破坏及生物物种消亡等一系列问题更为重要、更为迫切,也更具有吸引力。加强生物学研究,从分子水平、细胞水平、个体和群体水平等不同层次深入探索生命与自然的奥秘,全面改造和改良我们的生存环境与生存质量,正在日益成为千百万有识之士的共同愿望,成为历史的潮流。分子生物学作为生物学科最新兴、最具活力的科学,在推动我国科学事业的发展、推动生物工程产业的崛起、推动国民经济持续高速发展等方面均有着举足轻重的影响。

落后就要挨打,就要受人宰割。没有强大的分子生物学基础研究,我们就不可能在生物工程这个 21 世纪的龙头产业中占有一席之地,就不可能与世界列强平等对话。知识就是力量,就是财富!谁拥有了先进的科学技术,谁就拥有了在世界上立于不败之地的法宝。衷心地祝愿我国的科学教育事业乘改革开放之强劲东风,跃马扬鞭自奋蹄,以更快的速度向更高更新的目标前进!衷心地希望《现代分子生物学》能成为广大青年学生和科技工作者迈向分子生物学殿堂的钥匙和助手!



1995 年 10 月 5 日

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

001 第1章 绪 论

002 1.1 引言

002 1.1.1 创世说与进化论

003 1.1.2 细胞学说

004 1.1.3 经典生物化学和遗传学

006 1.1.4 DNA 的发现与基因学说的创立

008 1.1.5 不同的遗传方式可能存在于不同的生物体中

009 1.2 分子生物学简史

013 1.3 分子生物学主要研究内容

013 1.3.1 重组 DNA 技术(基因工程)

015 1.3.2 基因表达调控研究

016 1.3.3 生物大分子的结构功能研究(结构分子生物学)

016 1.3.4 基因组、功能基因组与生物信息学研究

017 1.4 展望

018 思考题

018 主要参考文献

021 第2章 染色体与 DNA

023 2.1 染色体

023 2.1.1 染色体概述

025 2.1.2 真核细胞染色体的组成

033 2.1.3 原核生物基因组

035 2.2 DNA 的结构

035 2.2.1 DNA 的一级结构

036 2.2.2 DNA 的二级结构

041 2.2.3 DNA 的高级结构

042 2.3 DNA 的复制

042 2.3.1 DNA 的半保留复制

043 2.3.2 DNA 复制的一些基本概念

046 2.3.3 DNA 复制的几种主要方式

050	2.4 原核生物和真核生物 DNA 复制的特点
050	2.4.1 原核生物 DNA 复制的特点
054	2.4.2 真核生物 DNA 复制的特点
056	2.4.3 DNA 复制的调控
057	2.5 DNA 的修复
058	2.5.1 错配修复
059	2.5.2 切除修复
061	2.5.3 重组修复
061	2.5.4 DNA 的直接修复
061	2.5.5 SOS 反应
062	2.6 DNA 的转座
062	2.6.1 转座子的分类和结构特征
063	2.6.2 真核生物中的转座子
064	2.6.3 转座作用的机制
065	2.6.4 转座作用的遗传学效应
066	2.7 SNP 的理论与应用
066	2.7.1 SNP 概述
067	2.7.2 SNP 的检测技术
069	2.7.3 SNP 的应用
070	思考题

071 第3章 生物信息的传递(上) ——从 DNA 到 RNA

073	3.1 RNA 的结构、分类和功能
073	3.1.1 RNA 的结构特点
073	3.1.2 RNA 在细胞中的分布
074	3.1.3 RNA 的功能
074	3.2 RNA 转录的基本过程
074	3.2.1 模板识别
075	3.2.2 转录起始
077	3.2.3 转录延伸
078	3.2.4 转录终止
081	3.3 转录机器的主要成分——RNA 聚合酶
081	3.3.1 原核生物 RNA 聚合酶
083	3.3.2 真核生物 RNA 聚合酶
085	3.4 启动子与转录起始

085	3.4.1	启动子区的基本结构	085
087	3.4.2	启动子区的识别	087
087	3.4.3	RNA 聚合酶与启动子区的结合	087
088	3.4.4	-10 区与 -35 区的最佳间距	088
089	3.4.5	增强子及其功能	089
089	3.4.6	真核生物启动子对转录的影响	089
092	3.4.7	转录的抑制	092
093	3.5	原核生物与真核生物转录产物比较	093
093	3.6	原核生物与真核生物 mRNA 的特征比较	093
093	3.6.1	原核生物 mRNA 的特征	093
096	3.6.2	真核生物 mRNA 的特征	096
099	3.7	真核生物 RNA 的转录后加工	099
099	3.7.1	真核生物 RNA 中的内含子	099
100	3.7.2	真核生物 tRNA 前体的转录后加工	100
100	3.7.3	真核生物 rRNA 前体的转录后加工	100
100	3.7.4	真核生物 mRNA 的剪接	100
108	3.8	RNA 的编辑、再编码和化学修饰	108
108	3.8.1	RNA 的编辑	108
110	3.8.2	RNA 的再编码	110
110	3.8.3	RNA 的化学修饰	110
110	3.8.4	核酶	110
112	3.8.5	RNA 在生物进化中的地位	112
113		思考题	113

115 第4章 生物信息的传递(下) ——从 mRNA 到蛋白质

116	4.1	遗传密码——三联子	116
117	4.1.1	三联子密码及其破译	117
119	4.1.2	遗传密码的性质	119
123	4.2	tRNA	123
123	4.2.1	tRNA 的三叶草形二级结构	123
125	4.2.2	tRNA 的 L 形三级结构	125
126	4.2.3	tRNA 的功能	126
127	4.2.4	tRNA 的种类	127
128	4.2.5	氨酰 - tRNA 合成酶	128
128	4.3	核糖体	128