



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

纳米生物技术学

(第二版)

张阳德 主编



科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院大学系列教材

纳米生物技术学

第二版

王德明 主编



中国科学院出版社
CHINA SCIENCE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

纳米生物技术学

(第二版)

张阳德 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书概要介绍纳米生物技术学的基本概念、研究的目标对象、产生、发展和国内外现状及展望;重点介绍了国内外纳米生物技术的前沿课题;详细介绍了各类纳米生物材料的来源、组成、理化和生物学特征、制备、应用、研究现状、发展方向和亟须解决的问题;论述了纳米载体在生物医学中的应用并介绍了各种纳米药物的实验室制备方法、释药特征、稳定性、药物代谢动力学和药效学内容以及最新进展;介绍了纳米中药的种类与特点,以及其在现代生物医学领域中的应用;讲述了纳米生物传感器的类型、特点及诊断技术;阐述了纳米技术在分子生物学中的应用,与基因工程相结合;还介绍了纳米探针与诊断技术,以及纳米科学常用的检测仪器与应用。

本书可供纳米学研究相关方向的科研工作者、研究生、本科生参考。

图书在版编目(CIP)数据

纳米生物技术学(第二版) / 张阳德主编. —北京: 科学出版社, 2009
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)
ISBN 978-7-03-022435-4

I. 纳… II. 张… III. 纳米材料-应用-生物技术 IV. Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 099003 号

责任编辑: 李 悦 沈晓晶 / 责任校对: 陈玉凤
责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者工作设计室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

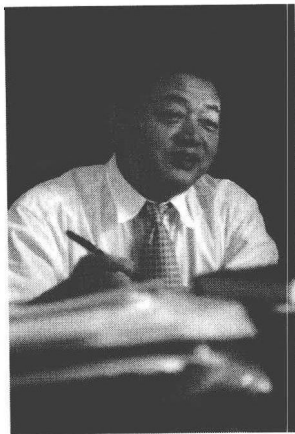
2009 年 9 月第一次印刷 印张: 29 1/4

印数: 1—6 000 字数: 680 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

张阳德简介



张阳德,中南大学外科学和生物医学工程学教授、一级主任医师、博士生导师。

张阳德教授注重医、理、工多学科交叉融合,是一位复合型科技人员。现任国家卫生部内镜专业技术考评委员会主任、国家卫生部肝胆肠外科研究中心主任、国家卫生部纳米生物技术重点实验室主任、中南大学生物医学工程研究院院长、中南大学湘雅医院器官移植中心主任。中国内镜新闻网总编、《中国内镜杂志》、《中国现代医学杂志》、《中国医学工程》、*Nano-science* 杂志主编。同时还担任中国医药生物技术协会副会长和纳米生物技术分会会长、中国癌症基金会纳米生物专项基金委员会主席、中国德国纳米生物技术协会主席、中国医师协会

内镜医师分会会长、国家“863”计划专家委员会纳米生物主题管理专家等社会兼职。

1988 年评为国家卫生部有突出贡献专家、1991 年评为国家级有突出贡献专家,终身享受国务院政府特殊津贴。获全国优秀科技工作者、优秀回国人员、十大杰出青年、中国青年科技奖、全国卫生系统先进工作者、湖南省优秀专家、湖南省优秀教师等多项奖及荣誉。

张阳德以肝胆肠疾病为研究方向,1987 年首创“经胆道镜下微爆破碎肝胆管内嵌顿结实临床应用”,首创纳米尺度精密加工设计“微爆器”研究。1990 年该项目获国家自然科学基金优秀成果奖及省科技进步一等奖。1988 年国际领先研制“结肠镜下激光诱导结肠早癌自体荧光诊断仪”,设计用纳米级超细微导光纤纤维材料,作为采集自体荧光的功能材料,获国家“九五”、“十五”科技攻关、NIH、卫生部重点项目支持,2002 年获湖南省科技进步一等奖。

1990 年翻译出版《聚合酶链反应技术及原理》一书,并研制“风冷灯热试 PCR 仪”推广应用。研制的治疗肠炎中药“小建中冲剂”1993 年获国家新药证书。1994 年在国内外最先开展“磁纳米粒白蛋白阿霉素治疗晚期肝癌”研究和 2002 年开展“磁纳米粒与内生场热疗治疗恶性肿瘤”。1996 年在中国较早招收“阿霉素白蛋白磁纳米粒在肝癌靶向治疗研究”博士、硕士研究生。

完成国家“九五”、“十五”科技攻关重点课题、美国国家卫生研究院(NIH)课题、十五及十一五期间国家 863、973 计划等重大课题多项。

1988 年开始招收外科学临床专业学位和科学学位的硕士研究生,1991 年开始招收医学外科学专业学位和科学学位的博士研究生,1994 年开始招收生物医学工程学工学、理学和医学的研究生。

中南大学外科学与生物医学工程学学位评定分委员会

第二版序

世界科技日新月异,从宏观到微观,人类从没有放慢探索的脚步,不断涌现的新理念新技术极大地提高了人类的生存质量。1994 年始,张阳德教授将纳米技术与生命科学、材料科学结合,开始了一门全新学科——纳米生物技术学的研究。纳米生物技术作为 21 世纪的前沿学科,涵盖了生物学、材料学、物理学、化学、医学、生物医学工程学等诸多领域,近些年来其显示了强劲的发展势头,引起了学术界的广泛关注,其巨大的社会和经济效益也吸引了企业界的投资,被看作是 21 世纪世界科技产业新的亮点。各国政府和科研机构先后加入到这一领域的技术研发中。我国政府更是从战略发展的高度,将纳米生物科技列为 21 世纪高新技术产业发展重点。

《纳米生物技术学》这一专著,是张阳德教授在我国“十五”、“十一五”期间在国内外第一部完整阐述纳米与生物这一多学科交叉的一门新学科的著作。他 2000 年始担任国家“863”高技术委员会主题管理专家,带领我国纳米生物研究团队,建立了国家“863”计划《纳米生物技术与材料》重点项目,获得了国家亿元以上重点经费支持,推动了我国纳米生物的发展,使我国纳米生物研究处于世界先进水平和部分领先水平。

目前,国内外研究主要集中在纳米生物材料、纳米生物芯片、纳米生物传感器、纳米药物及纳米药物载体等领域。这些领域取得的成果可直接应用到医学临床诊断和治疗。这有望使长期威胁人类健康的心脑血管疾病、肿瘤、传染病、遗传病治疗提高疗效。

本书作者张阳德教授,担任国家卫生部纳米生物技术重点实验室主任,1994 年以来一直从事纳米生物技术方面的研究,率先将这一多学科交叉的新学科引入高校课堂,为国家培养纳米生物技术人才。全书将纳米技术和生物技术有机的结合,结构合理,图文并茂,反映了国内外纳米生物技术的最新进展,是一本学术性、可读性很强的著作,为推动纳米生物技术的发展有重要指导作用,可作为多学科领域研究生和本科生的教材。



中国科学院院士

四川大学副校长

国家人类疾病生物治疗重点实验室主任

第一版序一

纳米技术是在1~100nm尺度上研究物质的结构和性质的多学科交叉的前沿技术,其最终目标是用分子、原子以及物质在纳米尺度上的特性制造具有特定功能的产品,实现生产方式的革命。近年来,纳米技术正在向生物医药、信息、能源和环境、航天航空、海洋、国防等高科技领域渗透,显现了其广泛的应用性和较强的市场潜力。因此,各国政府和企业都不惜投入巨资研究和开发纳米技术,占领战略制高点,抢占世界市场。

纳米技术与生物技术相结合,并应用于生物医学领域,便形成了一种新的多学科交叉技术——纳米生物技术。纳米生物技术是一个正逐渐发展的新兴领域。随着这一领域的新成果不断涌现,纳米生物技术研究范围和内涵将不断延伸和丰富,并逐渐形成一门新的学科。国内外纳米生物技术研究范围主要涉及纳米生物材料、药物和基因转运纳米载体、纳米生物相容性人工器官、纳米生物传感器和成像技术等重要领域。这些研究多以早期诊断疾病、提高临床疗效和改良生物品种为目标。

纳米生物技术领域是纳米技术中极具开发前景的高技术。近年来这一领域的发展令人瞩目,《纳米生物技术学》是国内外第一部较完整阐述纳米生物技术这一多学科交叉领域形成的新学科的专著,由国家“863”计划生物与现代农业技术领域纳米生物技术和药物筛选专题管理专家、国家卫生部纳米生物技术重点实验室主任张阳德教授编著。该书较系统地介绍了纳米生物技术的特点、纳米生物材料及其制备、纳米生物技术的应用领域和发展方向。《纳米生物技术学》一书的出版,将弥补在这个多学科交叉领域中的空白,对生物、医学、药学领域的研究和开发有很好的引导作用和参考价值。该书可作为理、工、医科专业博士、硕士研究生、本科生的教材使用。



中国科学院院士
中国科学院副院长
国家纳米科学中心主任

第一版序二

纳米生物技术学是一门纳米科技与生物学交叉的前沿学科,是纳米技术在生物领域的渗透,涵盖了生物学、医学、化学和物理学等学科领域。纳米生物技术是 21 世纪的关键技术之一,该技术的发展和推广应用,有巨大的经济效益和临床医学应用潜力。我国“九五”期间“863 计划”启动了国家纳米振兴计划,“十五”期间“863 计划”将纳米生物技术列为专题项目予以优先支持发展。国家“973 计划”、自然科学基金均设立了纳米生物技术主题和重大项目。2002 年 10 月,国家卫生部纳米生物技术重点实验室在长沙成立,这意味着我国正式启动纳米生物技术在医药领域的研究,表明我国医学科学界抢占国际纳米生物技术制高点的攻关战役已经展开。在国家“863 计划”纳米生物技术专家张阳德教授的领导下,国家卫生部纳米生物技术重点实验室在“纳米药物载体”、“纳米基因载体”、“磁纳米粒阿霉素白蛋白治疗肝癌”、“纳米中药制剂与加工”等前沿课题,完成了具有国内外领先水平的研究工作。

《纳米生物技术学》专著的问世,对指导和推动我国纳米生物技术和纳米医学的发展无疑具有重要的意义。张阳德教授注重医工学科结合,多年来在国内外从事外科临床与纳米生物技术、生物医学工程结合的工作,理工科专业基础好,外科临床工作时间长。他系统地总结了自己多年来的研究成果和国内外纳米生物技术研究最新进展,以及在生物医药领域、农业领域中的应用,对纳米药物载体、纳米生物材料研制、纳米生物技术与分子生物学的结合等诸多方面进行了详细的论述。该专著科学性、新颖性、实用性强,可作为医学、生物工程和农业等专业的技术人员、研究生、本科生的教材和参考书。我衷心希望,该书的出版,能够推动纳米生物技术的应用和发展,使纳米生物技术学这门新的学科在促进我国医学、生物工程和农业等领域的发展方面发挥重要的作用。



中国工程院院士

中南大学校长 材料学教授

国家“863”计划专家委员会新材料领域专家委员会主任

前 言

在科学技术飞速发展的 21 世纪,纳米技术以其崭新的革命性理论和技术特点引起世人瞩目。它将人们对自然的认识延伸到微观领域,使人们更深刻地认识物质的本质,从根本上改造物质并创新物质,它对科学技术发展的作用不亚于生物技术和信息技术。

纳米生物技术是纳米科学与生物技术交叉渗透形成的一个新领域,是纳米技术的重要组成部分。纳米生物技术学是生物医学领域的重要发展方向,是当今国际生物技术领域的前沿和热点。它涵盖了物理学、化学、医学、材料学、生物医学工程学、生物学等学科的理论和技术方法,对疾病的诊断、治疗和预防将发挥重要作用,是 21 世纪科技发展的制高点,是发达国家和国内优先资助研究的重要领域。

纳米生物技术突破了传统生物医学领域的格局,旨在推动生物医学的革命。为此,科技发达国家都投入巨资,研究和开发纳米生物技术,以抢占世界生物医药市场。

为了有助于我国生物医学领域的研究人员掌握纳米生物技术,尽快研制出具有我国自主知识产权的纳米生物医药产品,2005 年我们编著了第一部《纳米生物技术学》,受到读者的热烈欢迎。为了满足纳米科技人员、生物医学及其相关领域的研究生、本科生的需求,此次我们在原书的基础上对内容和结构做了重要的补充和修改。

本书第 1 章全面介绍纳米生物技术基本理论方法,学科目标对象、现状和发展方向,使进入这一领域的学者对这纳米生物技术有一个总体概念,掌握这一学科的基本研究方法。第 2 章介绍国际国内纳米生物检测技术和操作系统,着重介绍了纳米机器人、纳米分子仿生学及纳米生物芯片等纳米生物技术前沿。第 3 章和第 4 章分别介绍各种纳米生物材料和纳米药物载体的性质特点、制备方法,以及临床应用研究最新进展。第 5 章介绍了纳米中药的特点和常用的制备方法,以及其在现代生物医学领域中的应用。第 6 章介绍纳米生物传感器的类型、特点及各类纳米生物传感器的诊断技术。第 7 章详述纳米生物技术在分子生物学及基因工程方面的应用。第 8 章最后介绍纳米科学常用的检测仪器与应用和纳米科技大事记,以促进强化纳米技术有关应用方面的研究和产业化的实现,使更多科技人士了解、参与并顺利进行这一领域的研究。

《纳米生物技术学》出版,得到了白春礼院士、黄伯云院士、魏于全院士、裘法祖院士、刘德培院士、钟南山院士、姚开泰院士、何继善院士、涂铭旌院士、陈志南院士、闻立时院士、刘谦研究员、王琛研究员、江雷研究员、刘雁飞研究员、王小宁教授、李玉宝教授、汪建平教授、王迎军教授、顾宁教授、吴在德教授、Jonathan Sackier, M. D., David L., M. D., William Charles, M. D., Robert G, M. D., James Libutti, M. D. 和 Philip E. Parsons, M. D. 的热情支持和宝贵建议,借此书出版之际,再次深表谢意。另外,在本书出版过程中,龚连生、潘一峰、周健、刘勤、赵劲风、廖明媚、张浩伟、李玲玲、谭亮、段菁华、刘美洲、曾昭武、周伟华、李瑾、唐静波等教授、博士辛勤工作,完成了大量的编校工作,为此书的出版作出了贡献,在此对他们深表谢意。

《纳米生物技术学》一书介绍了纳米生物技术的基础知识,又侧重纳米生物技术在生物

医学领域的应用和发展,适合作为医学、材料学、有机化学、生物物理学、生物信息学等相关领域的研究生、本科生的教材使用,也可作为医学、工学、理学科研人员的参考书。由于水平有限,本书不足之处敬请广大读者和同道批评指教。

张阳德

2009 年于长沙

目 录

第二版序

第一版序一

第一版序二

前言

第 1 章 概论	(1)
1.1 概念	(1)
1.2 纳米技术的发展史	(2)
1.3 国内外研究概况和国家发展战略	(3)
1.4 在医药领域的应用	(6)
1.4.1 诊断	(7)
1.4.2 治疗	(14)
1.5 在农业领域的应用	(30)
1.5.1 品种改良	(30)
1.5.2 促进生长	(30)
1.5.3 饲料	(31)
1.5.4 兽药	(32)
1.5.5 肥料	(32)
1.5.6 农药	(33)
1.5.7 促进光合作用	(33)
1.5.8 激素的调节与控制	(33)
1.5.9 植物转基因	(34)
1.5.10 食品加工	(34)
1.6 展望	(35)
主要参考文献	(35)
第 2 章 纳米生物技术前沿	(41)
2.1 纳米生物技术概述	(41)
2.2 纳米生物学检测技术	(42)
2.2.1 引言	(42)
2.2.2 生物分子的纳米粒子标记和检测技术	(46)
2.2.3 纳米通道技术	(49)
2.2.4 磁共振波谱及成像技术在纳米尺度物质生物效应研究中的应用	(53)
2.2.5 电化学表面等离子体共振技术	(57)
2.2.6 表面增强拉曼散射光谱	(59)
2.3 纳米操作系统	(63)

2.3.1	引言	(63)
2.3.2	纳米操作系统的概念	(64)
2.3.3	典型纳米操作系统	(64)
2.3.4	纳米操作系统的关键技术	(70)
2.3.5	展望	(72)
2.4	纳米机器人和纳米分子仿生学	(72)
2.4.1	纳米机器人	(72)
2.4.2	纳米分子仿生学	(75)
2.5	纳米生物技术在未来计算机中的应用	(114)
2.5.1	引言	(114)
2.5.2	基于 DNA 的生物计算机	(115)
2.5.3	细菌视紫红质与生物光学计算机	(120)
2.6	生物芯片及其中的纳米技术	(130)
2.6.1	引言	(130)
2.6.2	基因芯片	(130)
2.6.3	蛋白质芯片	(131)
2.6.4	细胞芯片	(132)
2.6.5	芯片实验室	(132)
2.6.6	生物芯片的制作和分析方法	(133)
2.6.7	纳米材料和技术在生物芯片中的应用	(135)
2.6.8	传统的生物芯片与纳米生物芯片的比较	(136)
2.7	纳米生物效应与纳米安全性	(136)
2.7.1	引言	(136)
2.7.2	问题的起源与国际国内发展势态	(137)
2.7.3	纳米生物效应和安全性研究的几个方向	(139)
2.7.4	小结	(145)
	主要参考文献	(146)
第3章	纳米生物材料	(153)
3.1	纳米材料的分类	(154)
3.2	纳米生物材料的特性	(155)
3.2.1	纳米生物材料的特异效应	(155)
3.2.2	纳米生物材料的物理化学性能	(158)
3.3	纳米生物材料的制备方法	(161)
3.3.1	固相法	(161)
3.3.2	液相法	(162)
3.3.3	气相法	(175)
3.4	纳米生物医学材料及其应用	(181)
3.4.1	无机纳米生物材料	(182)
3.4.2	有机纳米生物材料	(199)

3.4.3 纳米复合材料	(206)
3.4.4 纳米组织工程材料	(211)
3.4.5 展望	(216)
主要参考文献	(216)
第4章 纳米药物载体	(225)
4.1 概述	(225)
4.2 纳米药物载体的基本类型	(229)
4.2.1 纳米粒的类型	(229)
4.2.2 几种常见的纳米药物载体	(230)
4.3 纳米药物载体的特征	(232)
4.3.1 靶向性	(232)
4.3.2 可控释放性	(235)
4.3.3 生物相容性和生物可降解性	(238)
4.4 纳米药物载体的制备、修饰	(238)
4.4.1 纳米药物载体材料	(238)
4.4.2 纳米药物载体的制备方法	(239)
4.4.3 纳米粒载药方法	(240)
4.4.4 纳米载体的修饰与改性	(241)
4.5 纳米药物载体的应用	(241)
4.5.1 癌症治疗	(242)
4.5.2 基因载体	(244)
4.5.3 疫苗辅剂	(245)
4.5.4 细胞内靶向给药	(245)
4.5.5 定量给药	(245)
4.5.6 口服用药	(246)
4.5.7 眼科用药	(246)
4.5.8 定位显影剂	(247)
4.6 纳米药物载体研究的进展	(247)
4.6.1 半乳糖化白蛋白磁性阿霉素纳米粒的制备及物理性质的研究	(247)
4.6.2 半乳糖化白蛋白磁性阿霉素纳米粒的生物相容性、生物降解性研究	(249)
4.6.3 半乳糖化白蛋白磁性阿霉素纳米粒治疗肝癌的体外实验研究	(249)
4.6.4 半乳糖化白蛋白磁性阿霉素纳米粒对肝癌细胞株 HepG2 侵袭力的影响	(253)
4.6.5 半乳糖化白蛋白磁性阿霉素纳米粒静脉给药药物毒理实验	(254)
4.6.6 半乳糖化白蛋白磁性阿霉素纳米粒在家兔体内的动力学	(259)
4.6.7 半乳糖化白蛋白磁性纳米粒运载的阿霉素在大鼠体内分布的研究	(260)
4.6.8 半乳糖化白蛋白磁性阿霉素纳米粒在大鼠体内的肝靶向性	(261)
4.7 纳米药物载体的未来	(262)
主要参考文献	(263)
第5章 纳米中药	(268)
5.1 概述	(268)

5.2	纳米中药的特点	(269)
5.2.1	纳米中药的生物利用度提高	(269)
5.2.2	增强靶向性	(269)
5.2.3	缓释功能	(270)
5.2.4	增强原有功效,增加新的功效	(270)
5.2.5	提升传统给药途径	(270)
5.2.6	提高与人体蛋白的相互作用性	(270)
5.3	纳米中药剂型的选择	(270)
5.4	载药纳米粒的类型及制备	(271)
5.4.1	纳米囊与纳米球	(271)
5.4.2	固体脂质纳米粒	(273)
5.4.3	脂质体	(274)
5.4.4	纳米结构脂质载体	(275)
5.4.5	纳米乳	(275)
5.4.6	应用实例	(276)
5.5	中药纳米制剂质量标准的研究	(277)
5.5.1	外观形态及粒径分布	(277)
5.5.2	ξ 电位	(277)
5.5.3	包封率和载药量	(277)
5.5.4	体外释药	(278)
5.5.5	渗漏率	(278)
5.5.6	体内药物代谢动力学和体内分布	(278)
5.5.7	药效学试验	(278)
5.5.8	有机溶剂残留量	(279)
5.5.9	其他特殊评价	(279)
5.6	中药材纳米颗粒的性质及其制备	(279)
5.6.1	米雄黄的制备与性质	(279)
5.6.2	纳米石决明的制备与性质	(281)
5.7	纳米中药饮片	(282)
5.8	纳米中药研究中存在的问题	(282)
5.9	纳米中药前景展望	(283)
	主要参考文献	(284)
第6章	纳米生物传感器与诊断技术	(287)
6.1	概述	(287)
6.2	生物传感器	(287)
6.2.1	生物传感器的基本概念	(287)
6.2.2	生物传感器的原理	(288)
6.2.3	生物传感器的种类	(288)
6.2.4	生物传感器的发展阶段	(288)

6.3	纳米生物传感器	(288)
6.4	纳米生物传感器中的纳米材料	(289)
6.5	DNA 纳米生物传感器	(295)
6.6	纳米微悬梁生物传感器	(296)
6.7	光纤纳米生物传感器	(296)
6.7.1	纳米纤维的制作	(296)
6.7.2	近场光学显微镜和光谱分析仪	(297)
6.7.3	近场光学生物传感器	(298)
6.7.4	光纤纳米生物传感器	(299)
6.7.5	光纤纳米荧光生物传感器	(299)
6.7.6	光纤纳米免疫传感器	(300)
6.7.7	光纤纳米化学传感器	(301)
6.7.8	分子信标生物传感器	(308)
6.8	化学探针的纳米传感器	(308)
6.9	生物探针的纳米传感器	(309)
6.10	磁性探针的纳米传感器	(309)
6.11	纳米图像生物传感器	(310)
6.11.1	纳米头阵列图像传感器	(310)
6.11.2	纳米孔阵列图像传感器	(311)
6.12	纳米细胞传感器	(312)
6.13	纳米粒子生物传感器	(313)
6.14	纳米碳管生物传感器	(315)
6.14.1	生物医学压力传感器	(315)
6.14.2	生物医学气体传感器	(316)
6.14.3	生物医学电磁传感器	(316)
6.15	纳米金颗粒生物传感器	(316)
6.16	纳米生物芯片	(320)
6.16.1	生物芯片的原理及应用	(320)
6.16.2	基因芯片	(328)
6.16.3	药物筛选芯片	(335)
6.16.4	蛋白质芯片	(336)
6.16.5	细胞芯片	(342)
6.16.6	神经芯片	(343)
6.16.7	组织芯片	(344)
6.16.8	芯片实验室	(344)
6.16.9	纳米生物芯片应用前景	(345)
主要参考文献		(346)
第 7 章	纳米技术在分子生物学中的应用	(350)
7.1	对生物大分子结构、功能及相互关系的研究	(350)

7.1.1	纳米级生物分子的观测	(350)
7.1.2	DNA 合成过程、基因调控过程的 STM 研究	(352)
7.1.3	质粒 DNA 及其与限制性内切酶相互作用的研究	(352)
7.1.4	对染色体的 AFM 研究	(352)
7.1.5	对生物分子之间及分子内部的力的测量	(353)
7.1.6	生物大分子动态过程的研究	(353)
7.1.7	生物大分子的直接操纵和改性	(353)
7.2	在纳米尺度上获取信息	(354)
7.3	纳米技术在分子生物学中的应用工程	(355)
7.3.1	生物芯片技术	(355)
7.3.2	分子马达	(355)
7.3.3	纳米生物机器人	(356)
7.3.4	生物大分子的物质装配及应用	(359)
7.3.5	反义核酸技术的应用	(360)
7.4	纳米技术在基因转运与基因工程中的应用	(361)
7.4.1	纳米技术在基因导入治疗中的应用	(361)
7.4.2	纳米粒作为基因转移载体在基因治疗中的应用	(362)
7.4.3	DNA 纳米技术和基因治疗	(369)
7.4.4	纳米技术在克隆技术中的应用	(370)
7.4.5	在基因工程中的应用——多肽疫苗及其佐剂	(371)
7.5	纳米技术在核酸中的应用	(372)
7.5.1	核酸提取	(372)
7.5.2	纳米技术用于核酸提取	(373)
7.5.3	纳米技术用于核酸扩增	(374)
7.6	纳米技术在 RNAi 中的应用	(375)
7.6.1	纳米粒载体中基因的包装与浓缩	(375)
7.6.2	纳米粒载体介导的基因入胞机制	(376)
7.6.3	纳米粒载体在 RNA 干扰治疗中的应用	(376)
7.7	其他方面的应用	(377)
7.7.1	细胞分离	(377)
7.7.2	细胞内部染色	(378)
7.7.3	发展趋势	(378)
	主要参考文献	(378)
第 8 章	纳米科学技术常用检测仪器与应用	(382)
8.1	扫描探针显微镜	(382)
8.1.1	扫描探针显微镜在生物学上的应用	(382)
8.1.2	原子力显微镜基本原理	(384)
8.1.3	近场光学显微镜	(399)
8.1.4	弹道电子发射显微镜	(405)

8.1.5	扫描探针显微镜与纳米科技	(406)
8.1.6	扫描探针显微术	(407)
8.1.7	扫描探针显微镜下的奇妙世界	(409)
8.1.8	扫描探针显微镜的应用	(410)
8.2	扫描隧道显微镜	(413)
8.2.1	有关的几个基本概念	(416)
8.2.2	基本原理	(417)
8.2.3	STM 控制装置简介	(420)
8.2.4	扫描隧道显微镜	(420)
8.2.5	超高真空扫描隧道显微镜	(422)
8.2.6	扫描隧道显微镜的特点	(422)
8.2.7	在扫描隧道显微镜基础上发展起来的各种新型显微镜	(423)
8.2.8	扫描隧道显微镜的应用前景	(425)
8.3	透射电子显微镜	(426)
8.3.1	基本知识	(426)
8.3.2	透射电子显微镜结构和成像原理	(428)
8.4	纳米压痕技术	(429)
8.4.1	基本概念	(429)
8.4.2	测量原理	(429)
8.5	激光粒度分析仪	(431)
8.5.1	粒径的定义与概念度分布粒	(432)
8.5.2	激光粒度分析仪的基本原理	(433)
8.5.3	常见粒度测量仪对比	(436)
8.5.4	粒度仪的性能指标	(437)
8.5.5	对粒度仪及测量结果认识上的误区	(437)
8.5.6	激光粒度分析仪在医学中的应用	(438)
8.6	其他纳米技术仪器	(440)
8.6.1	摩擦力显微镜	(440)
8.6.2	纳米测长仪	(441)
8.6.3	量块快速检测仪	(442)
8.6.4	X 射线衍射仪	(442)
	主要参考文献	(443)
	纳米科技大事记	(445)