学术引领系列

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国学科发展战略

国家科学思想库

RNA研究中的重大科学问题

国家自然科学基金委员会
中国科学院

科学出版社

学术引领系列

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

国家科学思想库

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国学科发展战略

RNA研究中的重大科学问题

国家自然科学基金委员会
中国科学院

科学出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

RNA研究中的重大科学问题/国家自然科学基金委员会，中国科学院编．—北京：科学出版社，2017.1

（中国学科发展战略）

ISBN 978-7-03-051310-6

Ⅰ.①R… Ⅱ.①国… ②中… Ⅲ.①核糖核酸-科学研究 Ⅳ.①Q522

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第307465号

丛书策划：侯俊琳 牛 玲

责任编辑：牛 玲 张翠霞 / 责任校对：李 影

责任印制：张 倩 / 封面设计：黄华斌 陈 敬

编辑部电话：010-64035853

E-mail：houjunlin@mail.sciencep.com

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

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年1月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2017年1月第一次印刷 印张：12 1/4 插页：2

字数：250 000

定价：72.00元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

中国学科发展战略

联合领导小组

组　　长：陈宜瑜　李静海

副 组 长：秦大河　姚建年

成　　员：王恩哥　朱道本　傅伯杰　李树深　杨　卫
武维华　曹效业　李　婷　王敬泽　高瑞平
王常锐　韩　宇　郑永和　孟庆国　陈拥军
杜生明　柴育成　黎　明　秦玉文　李一军
董尔丹

联合工作组

组　　长：李　婷　郑永和

成　　员：龚　旭　孟庆峰　吴善超　李铭禄　董　超
孙　粒　王敬泽　王振宇　钱莹洁　薛　淮
冯　霞　赵剑峰

中国学科发展战略·RNA研究中的重大科学问题

项 目 组

组　　长：施蕴渝　陈润生　王恩多　屈良鹄

成　　员：（以姓氏拼音为序）

曹晓风　陈匡时　陈玲玲　陈润生
陈晓亚　陈月琴　程　红　方显杨
光寿红　何新建　刘　晓　刘默芳
鲁　志　麻锦彪　倪　挺　戚益军
屈良鹄　阮梅花　单　革　宋尔卫
汪阳明　王恩多　王宏伟　王佳伟
王江云　王艳丽　吴　缅　吴立刚
熊　燕　徐永镇　杨建华　杨运桂
叶克穷　伊成器　张强锋　郑凌伶
郑晓飞　庄诗美

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

总　序

白春礼　杨　卫

17世纪的科学革命使科学从普适的自然哲学走向分科深入，如今已发展成为一幅由众多彼此独立又相互关联的学科汇就的壮丽画卷。在人类不断深化对自然认识的过程中，学科不仅仅是现代社会中科学知识的组成单元，同时也逐渐成为人类认知活动的组织分工，决定了知识生产的社会形态特征，推动和促进了科学技术和各种学术形态的蓬勃发展。从历史上看，学科的发展体现了知识生产及其传播、传承的过程，学科之间的相互交叉、融合与分化成为科学发展的重要特征。只有了解各学科演变的基本规律，完善学科布局，促进学科协调发展，才能推进科学的整体发展，形成促进前沿科学突破的科研布局和创新环境。

我国引入近代科学后几经曲折，及至上世纪初开始逐步同西方科学接轨，建立了以学科教育与学科科研互为支撑的学科体系。新中国建立后，逐步形成完整的学科体系，为国家科学技术进步和经济社会发展提供了大量优秀人才，部分学科已进入世界前列，有的学科取得了令世界瞩目的突出成就。当前，我国正处在从科学大国向科学强国转变的关键时期，经济发展新常态下要求科学技术为国家经济增长提供更强劲的动力，创新成为引领我国经济发展的新引擎。与此同时，改革开放30多年来，特别是21世纪以来，我国迅猛发展的科学事业蓄积了巨大的内能，不仅重大创新成果源源不断产生，而且一些学科正在孕育新的生长点，有可能引领世界学科发展的新方向。因此，开展学科发展战略研究是提高我国自主创新能力、实现我国科学由“跟跑者”向“并行者”和“领跑者”转变的

一项基础工程，对于更好把握世界科技创新发展趋势，发挥科技创新在全面创新中的引领作用，具有重要的现实意义。

学科发展战略研究的核心是结合科学技术和经济社会的发展需求，在分析科学前沿发展趋势的基础上，寻找新的学科生长点和方向。在这个过程中，战略科学家的前瞻引领作用十分重要。科学史上这样的例子比比皆是。在 1900 年 8 月巴黎国际数学家代表大会上，德国数学家戴维·希尔伯特发表了题为“数学问题”的著名讲演，他根据过去特别是 19 世纪数学研究的成果和发展趋势，提出了 23 个最重要的数学问题，即“希尔伯特问题”。这些“问题”后来成为许多数学家力图攻克的难关，对现代数学的研究和发展产生了深刻的影响。1959 年 12 月，美国物理学家、诺贝尔奖得主理查德·费曼在加利福尼亚理工学院举行的美国物理学会年会上发表了题为“物质底层大有空间——一张进入物理新领域的请柬”的经典讲话，对后来出现的纳米技术作出了天才的预见。

学科生长点并不完全等同于科学前沿，其产生和形成不仅取决于科学前沿的成果，还决定于社会生产和科学发展的需要。1841 年，佩利戈特用钾还原四氯化铀，成功地获得了金属铀，可在很长一段时间并未能发展成为学科生长点。直到 1939 年，哈恩和斯特拉斯曼发现了铀的核裂变现象后，人们认识到它有可能成为巨大的能源，这才形成了以铀为主要对象的核燃料科学的学科生长点。而基本粒子物理学作为一门理论性很强的学科，它的新生长点之所以能不断形成，不仅在于它有揭示物质的深层结构秘密的作用，而且在于其成果有助于认识宇宙的起源和演化。上述事实说明，科学在从理论到应用又从应用到理论的转化过程中，会有新的学科生长点不断地产生和形成。

不同学科交叉集成，特别是理论研究与实验科学相结合，往往也是新的学科生长点的重要来源。新的实验方法和实验手段的发明，大科学装置的建立，如离子加速器、中子反应堆、核磁共振仪等技术方法，都促进了相对独立的新学科的形成。自 20 世纪 80 年代以来，具有费曼 1959 年所预见的性能、微观表征和操纵技术的

仪器——扫描隧道显微镜和原子力显微镜终于相继问世，为纳米结构的测量和操纵提供了“眼睛”和“手指”，使得人类能更进一步认识纳米世界，极大地推动了纳米技术的发展。

作为国家科学思想库，中国科学院（以下简称中科院）学部的基本职责和优势是为国家科学选择和优化布局重大科学技术发展方向提供科学依据、发挥学术引领作用，国家自然科学基金委员会（以下简称基金委）则承担着协调学科发展、夯实学科基础、促进学科交叉、加强学科建设的重大责任。继基金委和中科院于2012年成功地联合发布“未来10年中国学科发展战略研究”报告之后，双方签署了共同开展学科发展战略研究的长期合作协议，通过联合开展学科发展战略研究的长效机制，共建共享国家科学思想库的研究咨询能力，切实担当起服务国家科学领域决策咨询的核心作用。

基金委和中科院共同组织的学科发展战略研究既分析相关学科领域的发展趋势与应用前景，又提出与学科发展相关的人才队伍布局、环境条件建设、资助机制创新等方面的政策建议，还针对某一类学科发展所面临的共性政策问题，开展专题学科战略与政策研究。自2012年开始，平均每年部署10项左右学科发展战略研究项目，其中既有传统学科中的新生长点或交叉学科，如物理学中的软凝聚态物理、化学中的能源化学、生物学中生命组学等，也有面向具有重大应用背景的新兴战略研究领域，如再生医学、冰冻圈科学、高功率、高光束质量半导体激光发展战略研究等，还有以具体学科为例开展的关于依托重大科学设施与平台发展的学科政策研究。

学科发展战略研究工作沿袭了由中科院院士牵头的方式，并凝聚相关领域专家学者共同开展研究。他们秉承“知行合一”的理念，将深刻的洞察力和严谨的工作作风结合起来，潜心研究，求真唯实，“知之真切笃实处即是行，行之明觉精察处即是知”。他们精益求精，“止于至善”，“皆当至于至善之地而不迁”，力求尽善尽美，以获取最大的集体智慧。他们在中国基础研究从与发达国家“总量并行”到“贡献并行”再到“源头并行”的升级发展过程中，

脚踏实地，拾级而上，纵观全局，极目迥望。他们站在巨人肩上，立于科学前沿，为中国乃至世界的学科发展指出可能的生长点和新方向。

各学科发展战略研究组从学科的科学意义与战略价值、发展规律和研究特点、发展现状与发展态势、未来 5～10 年学科发展的关键科学问题、发展思路、发展目标和重要研究方向、学科发展的有效资助机制与政策建议等方面进行分析阐述。既强调学科生长点的科学意义，也考虑其重要的社会价值；既着眼于学科生长点的前沿性，也兼顾其可能利用的资源和条件；既立足于国内的现状，又注重基础研究的国际化趋势；既肯定已取得的成绩，又不回避发展中面临的困难和问题。主要研究成果以“国家自然科学基金委员会—中国科学院学科发展战略”丛书的形式，纳入“国家科学思想库—学术引领系列”陆续出版。

基金委和中科院在学科发展战略研究方面的合作是一项长期的任务。在报告付梓之际，我们衷心地感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家，还要感谢在咨询、审读和支撑方面做出贡献的同志，也要感谢科学出版社在编辑出版工作中付出的辛苦劳动，更要感谢基金委和中科院学科发展战略研究联合工作组各位成员的辛勤工作。我们诚挚希望更多的院士、专家能够加入到学科发展战略研究的行列中来，搭建我国科技规划和科技政策咨询平台，为推动促进我国学科均衡、协调、可持续发展发挥更大的积极作用。

前　言

根据《中国科学院学部“十二五”工作规划纲要》中关于组织开展学科发展战略研究的要求，2012 年 12 月 8 日，中国科学院生物学与医学学部常务委员会会议批准开展关于 RNA 研究的战略研究项目，并于 2013 年 1 月启动。2013 年 6 月，中国科学院学部与国家自然科学基金委员会联合开展的“RNA 研究中的若干重大科学问题”项目启动。

项目启动后，按照国家自然科学基金委员会与中国科学院学科发展战略研究项目的要求，项目组由施蕴渝、陈润生、王恩多和屈良鹄领导，召开两次小范围、高层次的 RNA 研究战略研讨会，规模 45～50 人。会上，文献情报专家提供 RNA 研究情报资料，还两次发放美国加利福尼亚大学圣迭戈分校付向东教授撰写的关于 RNA 研究的评述文章。项目组汇聚了国内 RNA 研究领域的一批优秀科学家，特别是一批年轻的科学家，瞄准国际学术前沿，凝聚科学问题，交流新的学术思想、学术成果、新技术和新方法。通过研讨会，项目组凝聚了国内最优秀的 RNA 研究领域的学术研究队伍，召开的“RNA 研究的战略研讨会”和“学术讨论会”已形成品牌。

在此基础上，屈良鹄主要负责并开始撰写《中国学科发展战略·RNA 研究中的重大科学问题》，内容包括：RNA 研究的科学意义与战略价值；RNA 研究的发展规律与研究特点；RNA 研究的发展现状与发展态势。在学术研讨的基础上，项目组凝练学科发展的前沿方向，分别由在 RNA 研究前沿研究领域从事一线工作的优秀科学家撰写了 RNA 研究的发展思路与发展方向，内容包括 RNA

信息学，RNA生成、加工和降解，RNA生理与遗传，RNA结构生物学，非编码RNA与医学，非编码RNA与农学，非编码RNA研究中的新方法和新技术等七个方向。每个方向按照概述、关键科学问题、发展思路、前沿方向及研究内容、发展目标和我国在该领域的优势加以撰写。具体编写分工如下[①]：①RNA信息学：陈润生、鲁志、屈良鹄、杨建华*、郑凌伶；②RNA生成、加工和降解：陈玲玲、程红、刘默芳、倪挺、戚益军、吴立刚*、徐永镇、杨运桂；③RNA生理与遗传：曹晓风、陈玲玲、光寿红、刘默芳*、单革、汪阳明、王恩多；④RNA结构生物学：麻锦彪、王艳丽、叶克穷*；⑤非编码RNA与医学：宋尔卫、吴缅、庄诗美*；⑥非编码RNA与农学：曹晓风、陈月琴、陈晓亚、何新建、戚益军*、王佳伟；⑦非编码RNA研究中的新方法和新技术：陈匡时、方显杨、刘晓*、王宏伟、王江云、伊成器、张强锋、郑晓飞。此外，文献情报专家熊燕和阮梅花为本书提供了文献情报支撑服务。

人类基因组中编码蛋白质的序列只占2%，而占基因组98%的是不编码蛋白质的序列（即非编码区域），但人类基因组中大约80%的序列是可以被转录的。同时，大量疾病相关的突变发生在非编码区域上，并构成了由蛋白质、RNA、DNA和小分子组成的复杂的调控网络。此外，物种间最主要的差别也存在于这些非编码区域上。因此，我们认为非编码RNA是生命科学新的研究前沿，蕴含着生命活动的基本规律。对非编码RNA的研究充分体现了科学研究的前瞻性、基础性和重要性的特点，其研究水平将影响未来生命科学，包括医学和农学的发展。我国的非编码RNA研究起步时间与国际同行差距不大，近十年来已取得一批具有重要国际影响的原始创新成果，是生命科学有望取得国际领先地位的重要领域，是一个有可能取得原创突破的战略方向。因此，在本书资助机制与政策建议部分中，项目组提出：鉴于《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》中“非编码核糖核酸的表达调控与功能”已作为科学前沿被列入主要研究方向，建议中国科学院学部与

① 以姓氏拼音为序。*标注的为该部分主要执笔人。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

国家自然科学基金委员会在编制国家“十三五”科学发展规划时，能充分考虑非编码RNA研究的重要意义；同时建议科技部在“国家重点研发计划”中予以考虑。

《中国学科发展战略·RNA研究中的重大科学问题》初稿于2013年秋完成。2014年秋学术会议传达了中国科学院学部工作局对“中国学科发展战略”项目研究成果的出版要求，要求各专题组在以往工作报告的基础上做出修订。2015年3月完成第二稿。2016年2月完成第三稿 。2016年2月20～21日在广州召开的会议上进行了认真讨论，按照国家自然科学基金委员会-中国科学院“学科发展战略研究”工作联合领导小组的要求进一步修改了第三稿，形成第四稿。2016年5月，书稿由中国科学院学部与国家自然科学基金委员会组织通讯评审通过，进入正式出版流程。

由于认识局限，书中难免存在缺陷和不足，敬请读者批评指正。

施蕴渝

2016年9月

摘　要

一、本学科领域的科学意义与战略价值

细胞中存在各种各样的RNA分子，按照其是否携带编码蛋白质的信息来划分，可以分为信使RNA（message RNA，mRNA，即编码蛋白质的RNA）和非编码RNA（non-protein-coding RNA，ncRNA，即不编码蛋白质的RNA）两种。mRNA是携带基因组的遗传信息并指导蛋白质合成的一类RNA；而非编码RNA是相对于mRNA来说的，能够转录但不产生功能蛋白质产物的另一类RNA。非编码RNA与基因的表达和调控是当前生命科学最活跃的前沿研究之一。20年来，一大批非编码RNA的发现及其功能的阐明，揭示了非编码RNA基因（简称非编码基因）在遗传信息表达和调控中的重要作用。非编码基因所具有的从调控到生物催化活力的结构与功能多样性，不仅大大开阔和革新了人们对许多生物学基本概念和基本问题（如生命起源方式和分子生物学中心法则）的认识，而且展示了RNA技术在生命科学、农学和医学中广阔的应用前景。

在“人类基因组计划”完成之后，以解析非编码蛋白质序列为主要目标的“人类DNA元件百科全书计划”（ENCODE计划）等研究发现，人类和高等真核生物基因组中存在大量未知的非编码基因，对这些基因的结构及其功能的研究是后基因组时代重要的科学研究前沿，因为它有可能揭示一个全新的由RNA介导的遗传信息表达调控网络，从而以不同于编码蛋白质的基因的角度来注释和阐

明生物基因组的结构与功能。人类等真核生物基因组被认为是一个高度结构化的RNA机器。与编码蛋白质的遗传密码不同，基因组中的“暗物质”——非编码基因也被称为“第二套遗传密码”。

非编码RNA不仅是基因科学前沿，同时也正在引领生命科学各个领域的发展。最新的研究表明，非编码RNA虽然不编码蛋白质，但是以蛋白质机器“组织者”和调控分子等多种身份参与了各个层次的生命活动，在干细胞维持和分化、胚胎发育、细胞自噬与凋亡、生化代谢、信号转导、表观与获得性遗传、感染及免疫应答等几乎所有重要生命活动中发挥着不可替代的调控作用，并与恶性肿瘤、心血管疾病、神经系统疾病等人类重大疾病的发生和发展密切相关。随着对非编码RNA研究的深入，一个普遍存在的RNA与蛋白质相互作用、协同调控的细胞功能网络及信号转导机制正逐渐显露，这将有助于阐明生命起源及进化的本质。同时，非编码RNA作为人类健康大数据及精准医学的核心指标——RNA index，将为人类重大疾病的诊断、干预、防治及药物研发等提供全新的思路与技术。

二、本学科领域的研究特点、发展规律和发展趋势

1. 非编码RNA是新的基因科学前沿

人类基因组计划完成后，人们惊讶地发现，人类基因组中非蛋白质编码区（98%以上）远远大于蛋白质编码区，在非蛋白质编码区中隐藏着数目巨大的非编码基因有待发现。2005年，《Science》杂志提出21世纪125个挑战性问题，其中“人类基因为什么这么少?”列为第三。2010年，《Science》杂志再次提出，非编码基因是基因组中的“暗物质”。目前已预测出高达数万种人类非编码基因，但这仅仅揭示了其冰山一角。突破现有理论和方法的局限，全面系统地发掘新的非编码RNA及其功能解析已成为21世纪生命领域的科学前沿。

2. 非编码RNA对整个生命科学的引领作用

非编码RNA研究，不仅以大量新基因的发现来全面注释人类

等生物基因组的组成，而且将揭示出一个全新的由 RNA 介导的遗传信息表达调控网络和生命控制机理的起源及进化。目前已发现非编码 RNA 参与了动植物胚胎发育、干细胞维持、细胞分化、代谢、信号转导、免疫应答、神经生长、生物应激、癌症、衰老等几乎所有生理或病理过程。非编码 RNA 作为生理和遗传核心调控因子，参与决定各种细胞的功能及命运的过程，是复杂生命性状表观遗传调控的分子基础。对非编码 RNA 生物学功能及其机制的研究将影响或辐射到遗传学、生理学、免疫学、细胞生物学、神经生物学等生命科学各个基础领域，成为这些学科新的增长点，推动整个生命科学的快速发展。

3. 非编码 RNA 代表新的基因资源和新的生物技术制高点

非编码基因是与编码蛋白质的基因具有同等价值的遗传资源。大量非编码基因的发掘及调控功能的阐明将为生物的遗传育种以及人类重大疾病的干预、防治及药物研究等提供全新的思路与技术，在医学和农业中有巨大应用价值。例如，非编码 RNA 在各种细胞中的异常表达可作为肿瘤早期诊断、分类、分级甚至预后与治疗的新型标志物，一个非编码基因具有促进水稻增产 20%以上的潜力。建立基于非编码 RNA 的疾病分类系统将成为精准医学的核心指标，新的非编码基因和 RNA 靶向及干预技术在疾病机理、干细胞诱导、动植物品种选育、作物重要农艺性状改良及病害控制等方面有重要应用前景。

世界发达国家对非编码 RNA 十分重视，提出了多个重大行动计划，如欧盟的“RNA 调控网络与健康和疾病”计划，美国的 ENCODE 计划、“胞外核酸通信计划”（The Extracellular RNA Communication Program），日本的“功能 RNA 研究项目”“哺乳动物基因组功能注释计划”等。在我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》中，“非编码核糖核酸的表达调控与功能”被列为基础科学前沿。在国家“十一五”和“十二五”基础研究发展规划中，非编码 RNA 被作为基础科学前沿领域的重点方

向。2005年以来，科技部在973计划和863计划中启动了一批非编码RNA研究项目。2014年，国家自然科学基金委员会也启动了“基因信息传递过程中非编码RNA的调控作用机制”重大研究计划，有力地推动了国内RNA科学的发展，产生了一批具有国际影响的重大科技成果。鉴于非编码RNA研究在生命科学与生物技术中的重要性及其发展趋势，我们建议将非编码RNA领域列入“国家重点研发计划：面向国家战略需求的基础研究”方向，包括新的非编码RNA发现与相关功能鉴定、复杂的生物性状RNA调控机制、RNA结构生物学、疾病RNA组学、RNA与农学、RNA研究新技术等内容。

三、本学科领域的关键科学问题、发展思路、发展目标和重要研究方向

根据国家需求，结合我国的研究基础和国际研究热点及前沿，本书针对RNA研究中的若干基本重大科学问题，重点围绕“非编码RNA在遗传信息表达中的调控功能及机制”这一关键科学问题，集中从以下几个方向开展研究。

1. RNA信息学

在人类等高等真核生物中存在一个隐蔽的“调控RNA世界”，即由数目巨大的非编码RNA组成了细胞中一个尚未被人们所完全发现的RNA调控网络。如何在海量的生物数据中系统地、大规模地识别和鉴定各种非编码RNA及其基因的结构、进化、功能和调控机制是该领域的关键科学问题。

围绕上述关键科学问题，发展针对非编码RNA的信息学理论和算法，包括非编码RNA鉴定的数学模型、非编码RNA调控网络建模和数学描述等；开发基于多维高通量生物数据的非编码RNA的识别和功能解析生物信息学技术体系；建立基于超算平台的国际领先的非编码RNA知识库和分析平台，为国内非编码RNA的功能研究和转化应用提供新的资源。

该领域的前沿方向包括：①构建针对非编码 RNA 结构和功能预测的算法、数学模型、数据库和分析服务平台；②系统发掘新的非编码 RNA 基因资源和解析非编码 RNA 的调控网络功能；③开发基于非编码 RNA 的临床和农业等转化应用生物信息技术平台。

围绕“非编码 RNA 的结构与功能调控网络”这一前沿关键科学问题，发展一系列生物信息学理论与方法，从多维高通量的数据中挖掘出非编码 RNA 的全局特性，并通过整合这些特性形成对非编码 RNA 的整体认识，揭示人类等高等真核生物中的“调控 RNA 世界”。同时，通过对非编码 RNA 信息学的研究的持续资助，实现以下发展目标：①在非编码 RNA 的鉴定方面，建立一系列突破性的计算机算法和数学模型去发现新型的非编码 RNA；②构建新的计算 RNA 组学理论和技术体系去解析各种非编码 RNA 功能和调控网络；③开发新的算法和技术以发掘一批可用于人类重要疾病诊断和治疗的非编码 RNA 标志物；④建立国际先进的非编码 RNA 知识库和可视化交互的 RNA 组学分析平台，解决目前面临的海量数据分析的瓶颈问题，形成一体化的技术分析路线以快速发现非编码 RNA 相关的新药分子或作用靶标。这些目标的实现将推动国内非编码 RNA 相关的生物信息学理论与方法的快速发展，提高我国在非编码 RNA 信息学这一研究方向上的领先地位。

2. RNA 生成、加工和降解

RNA 生成、加工和降解的研究主要包括 RNA 的加工修饰、转运定位、降解调控和功能机制等方面，是了解 RNA 代谢和如何发挥功能的关键。虽然相关研究在过去几十年中积累了大量知识，取得了一系列重要进展，但新机制和新理论仍然不断涌现，特别是近年来大量非编码 RNA 的发现，给 RNA 的代谢和机制研究带来了新的挑战和机遇。越来越多的研究提示我们，RNA 世界的复杂度远远超出我们原有的认识和预期，该领域中尚存在大量重要的基础性的科学问题亟待解答。今后重点的研究方向包括：① RNA 的剪接调控机制；② RNA 的修饰及其调控机制；③ RNA 3’末端的选

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com