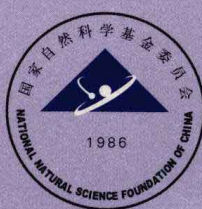


学术引领系列



国家科学思想库

未来10年 中国学科发展战略

生物学

国家自然科学基金委员会
中国科学院



科学出版社

中国科学院
中国工程院
中国科协



未来10年 中国学科发展战略

中国科学院
中国工程院
中国科协

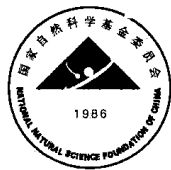
生物学

中国科学院 中国工程院 中国科协
中国工程院

中国科学院 中国工程院 中国科协



国家科学思想库



未来10年 中国学科发展战略

生物学

国家自然科学基金委员会
中国科学院

科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

未来 10 年中国学科发展战略·生物学/国家自然科学基金委员会,
中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2011
(未来 10 年中国学科发展战略)
ISBN 978-7-03-032308-8

I. ①未… II. ①国…②中… III. ①生物学-学科发展-发展战略-
中国-2011~2020 IV. ①Q-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 183240 号

丛书策划: 胡升华 侯俊琳

责任编辑: 牛 玲 孙 青 / 责任校对: 朱光兰

责任印制: 赵德静 / 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

*

2012 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 1 月第一次印刷 印张: 27 1/4

字数: 534 000

定价: 72.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

联合领导小组

组 长 孙家广 李静海 朱道本

成 员 (以姓氏笔画为序)

王红阳 白春礼 李衍达

李德毅 杨 卫 沈文庆

武维华 林其谁 林国强

周孝信 秦大河 郭重庆

曹效业 程国栋 解思深

联合工作组

组 长 韩 宇 刘峰松 孟宪平

成 员 (以姓氏笔画为序)

王 澍 申倚敏 冯 霞

朱蔚彤 吴善超 张家元

陈 钟 林宏侠 郑永和

赵世荣 龚 旭 黄文艳

傅 敏 谢光锋

战略研究组

组 长	林其谁	院 士	中国科学院上海生命科学研究院
副组长	杜生明	研究员	国家自然科学基金委员会生命科学部
成 员	(以姓氏笔画为序)		
	马 红	教 授	复旦大学
	方精云	院 士	北京大学
	朱作言	院 士	中国科学院水生生物研究所
	孙 兵	研究员	中国科学院上海生命科学研究院
	李家洋	院 士	中国科学院遗传与发育生物学研究所
	张大勇	教 授	北京师范大学
	陈晓亚	院 士	中国科学院上海生命科学研究院
	陈晔光	教 授	清华大学
	昌增益	教 授	北京大学
	郑光美	院 士	北京师范大学
	孟安明	院 士	清华大学
	洪德元	院 士	中国科学院植物研究所
	贺福初	院 士	中国人民解放军军事医学科学院
	唐朝枢	教 授	北京大学
	舒红兵	教 授	武汉大学
	谭华荣	研究员	中国科学院微生物研究所
	薛勇彪	研究员	中国科学院遗传与发育研究所
	魏辅文	研究员	中国科学院动物研究所

秘 书 组

组 长	舒红兵	教 授	武汉大学
副组长	杨正宗	处 长	国家自然科学基金委员会生命科学部
	申倚敏	处 长	中国科学院院士工作局
成 员	(以姓氏笔画为序)		
	于振良	研究员	国家自然科学基金委员会生命科学部

马 红	教 授	复旦大学
孙 兵	研究员	中国科学院上海生命科学研究院
谷瑞升	研究员	国家自然科学基金委员会生命科学部
张大勇	教 授	北京师范大学
陈 领	副研究员	国家自然科学基金委员会生命科学部
陈晓亚	院 士	中国科学院上海生命科学研究院
陈晔光	教 授	清华大学
昌增益	教 授	北京大学
唐朝枢	教 授	北京大学
温明章	研究员	国家自然科学基金委员会生命科学部
谭华荣	研究员	中国科学院微生物研究所
薛 岚	副研究员	国家自然科学基金委员会生命科学部
薛勇彪	研究员	中国科学院遗传与发育研究所
魏辅文	研究员	中国科学院动物研究所

总序

路甬祥 陈宜瑜

进入 21 世纪以来，人类面临着日益严峻的能源短缺、气候变化、粮食安全及重大流行性疾病等全球性挑战，知识作为人类不竭的智力资源日益成为世界各国发展的关键要素，科学技术在当前世界性金融危机冲击下的地位和作用更为凸显。正如胡锦涛总书记在纪念中国科学技术协会成立 50 周年大会上所指出的：“科技发展从来没有像今天这样深刻地影响着社会生产生活的方方面面，从来没有像今天这样深刻地影响着人们的思想观念和生活方式，从来没有像今天这样深刻地影响着国家和民族的前途命运。”基础研究是原始创新的源泉，没有基础和前沿领域的原始创新，科技创新就没有根基。因此，近年来世界许多国家纷纷调整发展战略，加强基础研究，推进科技进步与创新，以尽快摆脱危机，并抢占未来发展的制高点。从这个意义上说，研究学科发展战略，关系到我国作为一个发展中大国如何维护好国家的发展权益、赢得发展的主动权，关系到如何更好地持续推动科技进步与创新、实现重点突破与跨越，这是摆在我们面前的十分重要而紧迫的课题。

学科作为知识体系结构分类和分化的重要标志，既在知识创造中发挥着基础性作用，也在知识传承中发挥着主

体性作用，发展科学技术必须保持学科的均衡协调可持续发展，加强学科建设是一项提升自主创新能力、建设创新型国家的带有根本性的基础工程。正是基于这样的认识，也基于中国科学院学部和国家自然科学基金委员会在夯实学科基础、促进科技发展方面的共同责任，我们于2009年4月联合启动了2011~2020年中国学科发展战略研究，选择数、理、化、天、地、生等19个学科领域，分别成立了由院士担任组长的战略研究组，在双方成立的联合领导小组指导下开展相关研究工作。同时成立了以中国科学院学部及相关研究支撑机构为主的总报告起草组。

两年多来，包括196位院士在内的600多位专家（含部分海外专家），始终坚持继承与发展并重、机制与方向并重、宏观与微观并重、问题与成绩并重、国际与国内并重等原则，开展了深入全面的战略研究工作。在战略研究中，我们既强调战略的前瞻性，又尊重学科的历史延续性；既提出优先发展方向，又明确保障其得以实现的制度安排；既分析各学科自身的发展态势，又审视各学科在整个学科体系和科技与经济社会发展中的地位作用；既充分肯定各学科已取得的成绩，又不回避发展中面临的困难和问题；既立足国内的现状与条件，又注重基础研究的国际化趋势。经过两年多的战略研究工作，我们不断明晰学科发展趋势，深入认识学科发展规律，进一步明确“十二五”乃至更长一段时期推动我国学科发展的战略方向和政策举措，取得了一系列丰硕的成果。

战略研究总报告梳理了学科发展的历史脉络，探讨了学科发展的一般规律，研究分析了学科发展总体态势，并从历史和现实的角度剖析了战略性新兴产业与学科发展的关系，为可能发生的新科技革命提前做好学科准备，并对

我国未来 10 年乃至更长时期学科发展和基础研究的持续、协调、健康发展提出了有针对性的政策建议。19 个学科的专题报告均突出了 7 个方面的内容：一是明确学科在国家经济社会和科技发展中的战略地位；二是分析学科的发展规律和研究特点；三是总结近年来学科的研究现状和研究动态；四是提出学科发展布局的指导思想、发展目标和发展策略；五是提出未来 5~10 年学科的优先发展领域以及与其他学科交叉的重点方向；六是提出未来 5~10 年学科在国际合作方面的优先发展领域；七是从人才队伍建设、条件设施建设、创新环境建设、国际合作平台建设等方面，系统提出学科发展的体制机制保障和政策措施。

为保证此次战略研究的最终成果能够体现我国科学发展的水平，能够为未来 10 年各学科的发展指明方向，能够经得起实践检验、同行检验和历史检验，中国科学院学部和国家自然科学基金委员会多次征询高层次战略科学家的意见和建议。基金委各科学部专家咨询委员会数次对相关学科战略研究的阶段成果和研究报告进行咨询审议；2009 年 11 月和 2010 年 6 月的中国科学院各学部常委会分别组织院士咨询审议了各战略研究组提交的阶段成果和研究报告初稿；其后，中国科学院院士工作局又组织部分院士对研究报告终稿提出审读意见。可以说，这次战略研究集中了我国各学科领域科学家的集体智慧，凝聚了数百位中国科学院院士、中国工程院院士以及海外科学家的战略共识，凝结了参与此项工作的全体同志的心血和汗水。

今年是“十二五”的开局之年，也是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》实施的第二个五年，更是未来 10 年我国科技发展的关键时期。我们希望本系列战略研究报告的出版，对广大科技工作者触摸和

了解学科前沿、认知和把握学科规律、传承和发展学科文化、促进和激发学科创新有所助益，对促进我国学科的均衡、协调、可持续发展发挥积极的作用。

在本系列战略研究报告即将付梓之际，我们谨向参与研究、咨询、审读和支撑服务的全体同志表示衷心的感谢，同时也感谢科学出版社在编辑出版工作中所付出的辛劳。我们衷心希望有关科学团体和机构继续大力合作，组织广大院士专家持续开展学科发展战略研究，为促进科技事业健康发展、实现科技创新能力整体跨越做出新的更大的贡献。

前言

根据国家自然科学基金委员会与中国科学院合作开展“2011~2020 年中国学科发展战略研究”的要求，生物学学科发展战略研究组于 2009 年 3 月成立，成员有：陈晓亚、陈晔光、昌增益、杜生明、方精云、贺福初、洪德元、李家洋、林其谁、孟安明、马红、舒红兵、谭华荣、孙兵、唐朝枢、魏辅文、薛勇彪、张大勇、郑光美、朱作言。研究组下设秘书组，由舒红兵兼任组长，杨正宗、申倚敏任副组长。

研究组于 2009 年 4 月在上海召开了第一次全体会议，确定了工作进度与每位研究组成员的调研任务。明确由部分专家牵头，通过召集国内相关领域专家讨论或通信咨询，分别对生物学学科总体发展战略及植物学、动物学、微生物学、生态学、生物物理与生物化学、发育生物学、遗传学、细胞生物学、免疫学等二级学科发展战略开展研究。在二级学科发展战略报告初稿的基础上，秘书组起草了生物学学科总体发展战略初稿。

2009 年 8 月，研究组在北京召开了第二次全体会议，对生物学总体发展战略和各二级学科发展战略初稿进行了讨论，提出了补充、完善、修改建议，并在更广泛的范围内征求意见。修改后形成的生物学学科发展战略总体报告于 2009 年 11 月在贵阳征求了国家自然科学基金委员会生命科学部专家咨询委员会的意见后，于 11 月向参加院士增选大会的中国科学院生命科学与医学学部院士作汇报和听取意见。2010 年 4 月研究组在北京召开了第三次全体会议，进一步深化对生物学学科总体发展战略的研究。会后由舒红兵执笔，经国家自然科学基金委员会生命科学部专家咨询委员会讨论，并于 2010 年 6 月再次听取了出席院士大会的院士们的意见，最后形成了本书。发展战略研究不是原创性研究，也不是领域综述，需要大量地参考各种文献。不可能在书中对每个描述都列上文献，只宜列出少数主要参考文献供读者进一步阅读。由于本书不牵涉撰写人的学术权益，因此我们认为这样做是恰当的。在书稿的撰写过程中，有多位专家付出了艰辛的劳动，具体分工如下：第一章统稿人为舒红兵，主要参与编写的人员为生物学学科发展战略研究组和秘书组全体成员；第二章统稿人为马红、

陈晓亚,主要参与编写的人员有蔡杰、董爱武、高连明、葛颂、何祖华、黄宏文、黄继荣、孔宏智、李传友、李德铎、李来庚、刘吉开、卢金梅、王学路、王应祥、温明章、杨继、曹晓凤;第三章统稿人为魏辅文,主要参与编写的人员有李明、王德华、张健旭、张正旺、梁爱萍、秦川、陈领;第四章统稿人为谭华荣,主要参与编写的人员有邓子新、黄力、王磊、杨瑞馥、朱旭东、李越中、刘双江、刘杏忠、刘钢、陈士荣、李寅、刘志培、陈三凤、邱金龙、钟瑾;第五章统稿人为方精云、张大勇,主要参与编写的人员有安树青、傅声雷、韩博平、韩兴国、贺金生、李博、李义明、魏辅文、于贵瑞、于振良、余世孝、张德兴、张全国、张知彬;第六章统稿人为昌增益,主要参与编写的人员有郑晓峰、李伯良、金诚、周专、龚为民、蒋澄宇、秦咏梅、纪建国、谢灿、付新苗;第七章统稿人为陈晔光,主要参与编写的人员有方晓红、耿建国、李蓬、林圣彩、肖磊、徐涛;第八章统稿人为薛勇彪,主要参与编写的人员有杨维才、李巍、王文、苏都莫日根、曹晓风、朱大海、王秀杰、陈明生、张博、王沥、杨维才、李巍、王道文、傅向东、谷瑞升、邓向东;第九章统稿人为孟安明,主要参与编写的人员有张建、王海滨、谭铮、陈大华、孙青原;第十章统稿人为孙兵,主要参与编写的人员有田志刚、周光炎、郭亚军、张学光、张岩、李斌、冷启彬、肖晖、孟广勋、王琛、刘小龙、黄锋、于益芝;第十一章统稿人为唐朝枢,主要参与编写的人员有范明、齐永芬、孔炜。此外,还有一些科研教学人员与研究生也做了重要工作,在此我们一并表示感谢。

生物学学科的研究直接关系到人类的繁衍与健康、生存条件与环境,是认识自然规律的最主要内容之一。人类活动最根本的目的是认识自然、适应自然,改善人类的生活质量。随着生物学科的进步,农业、医学、生态等方面得到了很大的推动。在世界各国基础学科的投入中生物学科往往占据首位。生物学科也带动了生物技术的发展,直接造福于人类。

生物学学科的发展离不开新的学术思想与新技术、新方法。科学发现是无止境的。例如,非编码核糖核酸(noncoding RNA)在基因表达调控中的作用;蛋白质本身具有传染致病性的朊病毒的发现等带来了新思想;结构生物学新技术的发展和各种分子与活体组织的影像技术、四维(4D)电子显微技术等带来崭新的知识;脱氧核糖核酸(DNA)测序技术的飞速发展不仅推动生物学各分支学科的发展,也给医学、农学带来巨大的震撼。而各种组学的数据量的指数增长对生物信息学与计算生物学不断提出更高的要求。

生物学学科正在以极大的动能快速发展。要使中国生物学科适应飞速发展的形势并且逐渐站到国际前列,就需要有高瞻远瞩的发展战略与促进科学发展的

更有利的体制。在提倡献身科学的同时要充分尊重人才，给予他们积极、宽松的科研环境和更多、更稳定的科研经费支持。

我们希望本书能够促使广大生物科学家更加关心生物学科的发展，也希望生物科学家们不吝提出批评与意见。

林其谁

生物学学科发展战略研究组组长

2010年10月



摘要

生物学是研究生命现象和生命活动规律的学科，是生命科学各领域的基础和核心。生物学的研究对象包括所有有生命的个体、群体及生物之间，生物与环境之间的相互作用。生物学研究是人类探索自然规律和生命现象的主要手段之一，也是解决世界范围内长期以来存在的农业、医学和环境问题的需要，在培育高效、优质、抗逆农业新品种，探索新的疾病诊断和治疗手段，延长人类寿命，保护生物多样性及自然环境等方面发挥关键作用。生物学研究还将为防治人类重大传染病、生物防卫和反恐等方面提供科学基础和方法，因而是维护国家安全和社会稳定的需要。

生物学的发展依赖于技术手段的革新及与其他学科的交叉融合，依赖于概念上的重大突破。现今的生物学研究趋于系统化、规模化和数字化，已经从描述性研究阶段进入对生命现象机理和生命活动规律进行探索，并利用对这些机理和规律的了解来服务人类的阶段。生物学各传统分支学科的界限已经难以划分，微观生物学和宏观生物学之间相互渗透和融合，衍生了一大批新的学科前沿和生长点。

近年来生物学作为自然科学中发展最快的学科之一，在个性化基因组、干细胞、非编码核酸、细胞结构和功能、发育机理、免疫反应、微生物代谢网络、植物分子生物学、生态系统的可持续性利用和合成生物学等领域取得重大突破。在国家投入增加和科研队伍快速聚集的情况下，我国的生物学研究在过去几年中有了显著的进步，发表的高水平研究论文数量、平均引用次数都有较大增加，在基因组学，遗传疾病的分子机制，非编码核酸，发育机制，干细胞，细胞信号转导，天然免疫，蛋白质结构，微生物脱氧核糖核酸修饰、代谢和基因组进化，植物科学，生态学大尺度格局和生物多样性等领域都取得在国际上有重要影响的原创性成果。但是，我国的生物学研究与发达国家相比还存在较大差距，主要表现在：原创性研究成果较少；处于国际前沿的、在所在领域有重要影响的顶尖学者较少；立足于我国国情的系统性与独创性基础研究尚未夯实，存在着急于求成、急功近利的短视观念；我国在生物学的一些重要前沿领域，如神经生物学、免疫学、系统生物学等，总体说来还处于比较落后的地位；学术评价体系、研究氛围、资助机制、管理体制等软条件还不能完全适应于创新的

需要。

在未来10年中,生物学学科发展布局的指导思想和发展策略是协调发展与重点支持并重、宏观生物学与微观生物学并重,注重学科交叉和融合,鼓励概念和技术创新。注意优先支持具有重大生物学意义或者具有中国特色的生物学学科前沿研究,扶持和保护宏观生物学,如植物、动物和微生物分类学等学科的发展和人才培养。生物学学科发展的目标是在5~10年内,我国能够成为国际上最重要的几个生物学研究中心之一,在部分领域具有国际领先和主导地位,对农业、医学和环境等领域的发展和进步起到重要的推动作用。生物学学科的优先发展领域包括:蛋白质的修饰、相互作用与活性调控,非编码核糖核酸的结构与功能,复合糖的结构与功能,生物大分子的活细胞成像和功能,细胞生命活动的分子调控机制,干细胞全能性与定向分化,复杂性状的遗传机理,配子形成及其对合子早期发育的影响,组织器官发育的调控机理,免疫反应的细胞和分子机制,衰老机制,次级代谢与调控,光合作用和生物固氮机制,动物行为的机制与进化,物种演化和生物多样性的维持。

生物学与自然科学和技术领域其他学科的交叉和融合是生物学发展的重要动力和源泉。在未来10年中,优先发展的交叉研究领域包括:机体功能调控的系统生物学研究,物种及生态系统对全球变化的响应与适应,合成生物学研究。

生物学发展到今天,人类已经有能力探索复杂的生物学问题。复杂的生物学问题的阐释已经不是一个研究组甚至一个国家所能做到的,因此国际合作与交流对生物学前沿领域的研究日显重要。今后我国生物学领域的国际合作和交流要注意以国家需要、国家利益为导向,多种形式并重,加强以我国为主导的国际合作研究计划。生物学的重要国际合作领域包括:干细胞的基础与应用研究,物种及生态系统对全球气候变化的适应与响应,生物入侵及影响,蛋白质科学及组学研究,合成生物学研究,重大传染病的传播和防控的生物学基础等。

我国生物学的发展需要强有力的保障措施:加大对生物学基础研究的支持力度是生物学持续、快速发展的基础;造就一批高水平的研究队伍是生物学持续和快速发展的前提条件;建立科学的学术评价体系是提高研究人员的积极性、培育良性竞争的学术氛围的重要措施;建设一流的共享研究平台、加强生物学与其他学科的交叉融合是生物学持续、快速发展的重要保障。

生物学学科中10个二级学科的发展战略简介如下。

一、植物学

地球上的植物有30多万种。植物学旨在认识植物生命现象和生命过程的客

观规律，是生命科学中最悠久的基础学科之一，也是一门综合性学科。植物有许多特点，如具有细胞壁和叶绿体、体细胞具有全能性、发育具有可塑性等。植物学研究有过多个重大发现，包括细胞理论的提出、遗传定律的阐明、生化过程的解析、跳跃基因（转座子）的发现以及表观遗传学和基因组学的最新成果等。植物直接或间接为人类提供食物，多种次生代谢物具有重要的营养和药用价值。因此，植物学的发展也为农学和药学等应用学科的发展提供了雄厚的理论基础。

植物学传统研究手段包括形态学、生理学、生物化学和遗传学等方法。在此基础上，过去 30 年中利用模式植物分子遗传操作的有利条件开展研究，大大丰富了人们对基因及其产物在生理、发育、细胞和生化等层次上的功能的认识。各种组学的发展，结合新的显微成像技术和活体动态分析，正在推动对植物系统各个层次更深更广的认识。今后，植物学将通过多学科和技术齐驱并进、交叉发展，形成一个综合研究体系。

我国植物学研究在若干方面已经接近或达到国际先进水平。在今后 10 年中，需要继续支持一批优势和重要领域，使得其中部分领域达到世界领先水平。我国具有众多的植物资源，需要进行研究和保护；加强对植物系统发育和进化规律的认识，有助于了解植物物种间（包括模式植物和农作物）的关系和基因功能的普遍性。微观优先发展领域包括：激素的合成与调控，表观遗传调节机制，光合作用机制和代谢途径及网络，细胞、组织与器官的结构与功能，生殖发育与环境对发育的调节，重要基因产物作用的分子机理等。

在植物学领域，既要加强与国际一流实验室进行交流，也要增加和发展中国在生物多样性方面的交流与合作。植物学发展的保障措施包括：增加经费，以改善科研条件和扩大科研队伍，注重加强青年人才的培养和引进；要建立国家级数据库，并和已有的数据库联合成为有效的网络，真正做到信息共享；要支持新技术新方法的研究，进一步推动我国植物学的发展。

二、动物学

动物学是研究动物的形态、分类、进化、行为、生理和遗传等生命现象及其规律的科学，与农、林、牧、渔、医、工等学科密切相关，是解决资源与环境、有害生物及人类疾病的防治、动物仿生和生物多样性保护等诸多问题的重要基础之一。

现代动物学的发展有两个显著的特点，即比较和整合。随着分子生物学、基因组学、蛋白质组学、代谢组学、神经生物学、行为学、生态学乃至化学、物理、数学和信息科学等基础学科理论和技术的发展并与动物学交叉渗透，动