

学术引领系列



国家科学思想库

中国学科发展战略

生物学

中国科学院



科学出版社



国家科学思想库

中国学科发展战略

生物学

中国科学院



科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

中国学科发展战略·生物学/中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2013. 2
(中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-036452-4

I. ①中… II. ①中… III. ①生物学—学科发展—发展战略—中国
IV. ①Q-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 008316 号

丛书策划: 侯俊琳 牛 玲

责任编辑: 牛 玲 裴 璐 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 黄华斌

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

*

2013 年 3 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2013 年 3 月第一次印刷 印张: 21

字数: 350 000

定价: 89.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

中国学科发展战略

指导组

组 长：白春礼

副组长：李静海 秦大河

成 员：詹文龙 朱道本 陈 颢

陈宜瑜 李 未 顾秉林

工作组

组 长：周德进

副组长：王敬泽 刘春杰

成 员：马新勇 林宏侠 张 恒

申倚敏 薛 淮 张家元

钱莹洁 傅 敏 刘伟伟

中国学科发展战略·生物学

专 家 组

组 长：林其谁

成 员：吴家睿 赵国屏 施一公

张 旭 周 琪 丁 健

张启发 张亚平 吴仲义

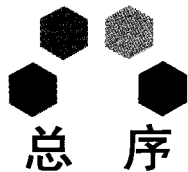
徐 涛

工 作 组

组 长：于建荣

成 员：申倚敏 袁牧红 熊 燕

徐 萍 王 玥



九层之台，起于累土^①

白春礼

近代科学诞生以来，科学的光辉引领和促进了人类文明的进步，在人类不断深化对自然和社会认识的过程中，形成了以学科为重要标志的、丰富的科学知识体系。学科不但是科学知识的基本的单元，同时也是科学活动的基本单元：每一学科都有其特定的问题域、研究方法、学术传统乃至学术共同体，都有其独特的历史发展轨迹；学科内和学科间的思想互动，为科学创新提供了原动力。因此，发展科技，必须研究并把握学科内部运作及其与社会相互作用的机制及规律。

中国科学院学部作为我国自然科学的最高学术机构和国家在科学技术方面的最高咨询机构，历来十分重视研究学科发展战略。2009年4月与国家自然科学基金委员会联合启动了“2011~2020年我国学科发展战略研究”19个专题咨询研究，并组建了总体报告研究组。在此工作基础上，为持续深入开展有关研究，学部于2010年底，在一些特定的领域和方向上重点部署了学科发展战略研究项目，研究成果现以“中国学科发展战略”丛书形式系列出版，供大家交流讨论，希望起到引导之效。

根据学科发展战略研究总体研究工作成果，我们特别注意到学

^① 题注：李耳《老子》第64章：“合抱之木，生于毫末；九层之台，起于累土；千里之行，始于足下。”

科发展的以下几方面的特征和趋势。

一是学科发展已越出单一学科的范围，呈现出集群化发展的态势，呈现出多学科互动共同导致学科分化整合的机制。学科间交叉和融合、重点突破和“整体统一”，成为许多相关学科得以实现集群式发展的重要方式，一些学科边界更加模糊。

二是学科发展体现了一定的周期性，一般要经历源头创新期、创新密集区、完善与扩散期，并在科学革命性突破的基础上螺旋上升式发展，进入新一轮发展周期。根据不同阶段的学科发展特点，实现学科均衡与协调发展成为了学科整体发展的必然要求。

三是学科发展的驱动因素、研究方式和表征方式发生了相应的变化。学科的发展以好奇心牵引下的问题驱动为主，逐渐向社会需求牵引下的问题驱动转变；计算成为了理论、实验之外的第三种研究方式；基于动态模拟和图像显示等信息技术，为各学科纯粹的抽象数学语言提供了更加生动、直观的辅助表征手段。

四是科学方法和工具的突破与学科发展互相促进作用更加显著。技术科学的进步为激发新现象并揭示物质多尺度、极端条件下的本质和规律提供了积极有效手段。同时，学科的进步也为技术科学的发展和催生战略新兴产业奠定了重要基础。

五是文化、制度成为了促进学科发展的重要前提。崇尚科学精神的文化环境、避免过多行政干预和利益博弈的制度建设、追求可持续发展的目标和思想，将不仅极大促进传统学科和当代新兴学科的快速发展，而且也为人才成长并进而促进学科创新提供了必要条件。

我国学科体系系由西方移植而来，学科制度的跨文化移植及其在中国文化中的本土化进程，延续已达百年之久，至今仍未结束。

鸦片战争之后，代数学、微积分、三角学、概率论、解析几何、力学、声学、光学、电学、化学、生物学和工程科学等的近代科学知识被介绍到中国，其中有些知识成为一些学堂和书院的教学内容。1904年清政府颁布“癸卯学制”，该学制将科学技术分为格致科（自然科学）、农业科、工艺科和医术科，各科又分为诸多学

科。1905 年清朝废除科举，此后中国传统学科体系逐步被来自西方的新学科体系取代。

民国时期现代教育发展较快，科学社团与科研机构纷纷创建，现代学科体系的框架基础成型，一些重要学科实现了制度化。大学引进欧美的通才教育模式，培育各学科的人才。1912 年詹天佑发起成立中华工程师会，该会后来与类似团体合为中国工程师学会。1914 年留学美国的学者创办中国科学社。1922 年中国地质学会成立，此后，生理、地理、气象、天文、植物、动物、物理、化学、机械、水利、统计、航空、药学、医学、农学、数学等学科的学会相继创建。这些学会及其创办的《科学》、《工程》等期刊加速了现代学科体系在中国的构建和本土化。1928 年国民政府创建中央研究院，这标志着现代科学技术研究在中国的制度化。中央研究院主要开展数学、天文学与气象学、物理学、化学、地质与地理学、生物科学、人类学与考古学、社会科学、工程科学、农林学、医学等学科的研究，将现代学科在中国的建设提升到了研究层次。

中华人民共和国建立之后，学科建设进入了一个新阶段，逐步形成了比较完整的体系。1949 年 11 月新中国组建了中国科学院，建设以学科为基础的各类研究所。1952 年，教育部对全国高等学校进行院系调整，推行苏联式的专业教育模式，学科体系不断细化。1956 年，国家制定出《十二年科学技术发展远景规划纲要》，该规划包括 57 项任务和 12 个重点项目。规划制定过程中形成的“以任务带学科”的理念主导了以后全国科技发展的模式。1978 年召开全国科学大会之后，科学技术事业从国防动力向经济动力的转变，推进了科学技术转化为生产力的进程。

科技规划和“任务带学科”模式都加速了我国科研的尖端研究，有力带动了核技术、航天技术、电子学、半导体、计算技术、自动化等前沿学科建设与新方向的开辟，填补了学科和领域的空白，不断奠定工业化建设与国防建设的科学技术基础。不过，这种模式在某些时期或多或少地弱化了学科的基础建设、前瞻发展与创新活力。比如，发展尖端技术的任务直接带动了计算机技术的兴起

与计算机的研制，但科研力量长期跟着任务走，而对学科建设着力不够，已成为制约我国计算机科学技术发展的“短板”。面对建设创新型国家的历史使命，我国亟待夯实学科基础，为科学技术的持续发展与创新能力的提升而开辟知识源泉。

反思现代科学学科制度在我国移植与本土化的进程，应该看到，20 世纪上半叶，由于西方列强和日本入侵，再加上频繁的内战，科学与救亡结下了不解之缘，新中国建立以来，更是长期面临着经济建设和国家安全的紧迫任务。中国科学家、政治家、思想家乃至一般民众均不得不以实用的心态考虑科学及学科发展问题，我国科学体制缺乏应有的学科独立发展空间和学术自主意识。改革开放以来，中国取得了卓越的经济建设成就，今天我们可以也应该静下心来思考“任务”与学科的相互关系，重审学科发展战略。

现代科学不仅表现为其最终成果的科学知识，还包括这些知识背后的科学方法、科学思想和科学精神，以及让科学得以运行的科学体制，科学家的行为规范和科学价值观。相对于我国的传统文化，现代科学是一个“陌生的”、“移植的”东西。尽管西方科学传入我国已有一百多年的历史，但我们更多地还是关注器物层面，强调科学之实用价值，而较少触及科学的文化层面，未能有效而普遍地触及到整个科学文化的移植和本土化问题。中国传统文化以及当今的社会文化仍在深刻地影响着中国科学的灵魂。可以说，迄 20 世纪结束，我国移植了现代科学及其学科体制，却在很大程度上拒斥与之相关的科学文化及相应制度安排。

科学是一项探索真理的事业，学科发展也有其内在的目标，探索真理的目标。在科技政策制定过程中，以外在的目标替代学科发展的内在目标，或是只看到外在目标而未能看到内在目标，均是不适当的。现代科学制度化进程的含义就在于：探索真理对于人类发展来说是必要的和有至上价值的，因而现代社会和国家须为探索真理的事业和人们提供制度性的支持和保护，须为之提供稳定的经费支持，更须为之提供基本的学术自由。

20 世纪以来，科学与国家的目的不可分割地联系在一起，科

学事业的发展不可避免地要接受来自政府的直接或间接的支持、监督或干预，但这并不意味着，从此便不再谈科学自主和自由。事实上，在现当代条件下，在制定国家科技政策时充分考虑“任务”和学科的平衡，不但是最大限度实现学术自由、提升科学创造活力的有效路径，同时也是让科学服务于国家和社会需要的最有效的做法。这里存在着这样一种辩证法：科学技术系统只有在具有高度创造活力的情形下，才能在创新型国家建设过程中发挥最大作用。

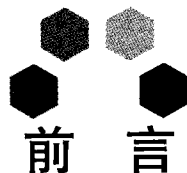
在全社会范围内创造一种允许失败、自由探讨的科研氛围；尊重学科发展的内在规律，让科研人员充分发挥自己的创造潜能；充分尊重科学家的个人自由，不以“任务”作为学科发展的目标，让科学共同体自主地来决定学科的发展方向。这样做的结果往往比事先规划要更加激动人心。比如，19世纪末德国化学学科的发展史就充分说明了这一点。从内部条件上讲，首先是由于洪堡兄弟所创办的新型大学模式，主张教与学的自由、教学与研究相结合，使得自由创新成为德国的主流学术生态。从外部环境来看，德国是一个后发国家，不像英、法等国拥有大量的海外殖民地，只有依赖技术创新弥补资源的稀缺。在强大爱国热情的感召下，德国化学家的创新激情迸发，与市场开发相结合，在染料工业、化学制药工业方面进步神速，十余年间便领先于世界。

中国科学院作为国家科技事业“火车头”，有责任提升我国原始创新能力，有责任解决关系国家全局和长远发展的基础性、前瞻性、战略性重大科技问题，有责任引领中国科学走自主创新之路。中国科学院学部汇聚了我国优秀科学家的代表，更要责无旁贷地承担起引领中国科技进步和创新的重任，系统、深入地对自然科学各学科进行前瞻性战略研究。这一研究工作，旨在系统梳理世界自然科学各学科的发展历程，总结各学科的发展规律和内在逻辑，前瞻各学科中长期发展趋势，从而提炼出学科前沿的重大科学问题，提出学科发展的新概念和新思路。开展学科发展战略研究，也要面向我国现代化建设的长远战略需求，系统分析科技创新对人类社会发展和我国现代化进程的影响，注重新技术、新方法和新手段研究，

提炼出符合中国发展新问题的重大战略方向。开展学科发展战略研究，还要从支撑学科发展的软、硬件环境和建设国家创新体系的整体要求出发，重点关注学科政策、重点领域、人才培养、经费投入、基础平台、管理体制等核心要素，为学科的均衡、持续、健康发展出谋划策。

2010年，在中国科学院各学部常委会的领导下，各学部依托国内高水平科研教育等单位，积极酝酿和组建了以院士为主体、众多专家参与的学科发展战略研究组。经过各研究组的深入调查和广泛研讨，形成了“中国学科发展战略”丛书，纳入“国家科学思想库—学术引领系列”陆续出版。学部诚挚感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家们！

按照学部“十二五”工作规划部署，学科发展战略研究将持续开展，希望学科发展战略系列研究报告持续关注前沿，不断推陈出新，引导广大科学家与中国科学院学部一起，把握世界科学发展动态，夯实中国科学发展的基础，共同推动中国科学早日实现创新跨越！



前言

“生物学学科发展战略研究”作为中国科学院学部研究部署的系列学科发展战略研究项目，于2010年10月经中国科学院生命科学和医学学部常委会审议立项，由林其谁院士负责，以中国科学院上海生命科学研究院（中国科学院上海生命科学信息中心）为依托单位，成立了由10余位院士专家组成的专家组，以及负责项目具体实施的工作组。经过近两年的研究和讨论，完成了《中国学科发展战略·生物学》一书。

本书分为10个领域（章节），包括系统生物学、合成生物学、结构生物学、转化医学（神经科学）、干细胞与再生医学、药学科学、生物育种、生物进化、生物信息学、新技术新方法。每个领域相应的负责专家分别为：吴家睿、赵国屏、施一公、张旭、周琪、丁健、张启发、张亚平、吴仲义、徐涛。参与本书撰写或提供资料的其他人员包括：中国科学院上海生命科学信息中心王玥、王小理、徐萍、王慧媛、熊燕和于建荣等提供了系统生物学章节的部分资料；中国科学院上海生命科学信息中心熊燕、刘晓、陈大明为合成生物学章节提供资料并参与撰写；中国科学院动物研究所李伟、董明珠、冯春敬、夏宝龙、张顺、桑励思参与了干细胞与再生医学章节的撰写；中国科学院上海药物研究所蒋华良、谢欣、李子艳、李亚平、果得安、丁侃、李佳、耿美玉、高柳滨、吴慧，温州医学院李校堃、姜潮、王晓杰参与了药学科学章节的撰写；华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室王功伟、吴昌银、陈浩、牟同敏参与了生物育种章节的撰写；中国科学院昆明动物研究所遗传资源与进化国家重点实验室的施鹏、车静、王国栋，中国科学院北京基因

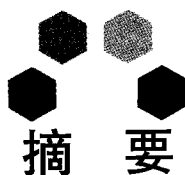
组研究所的吕雪梅，中山大学生命科学学院的施书华，云南大学省部共建生物多样性资源保护与利用重点实验室的于黎参与了生物进化章节的撰写；清华大学张学工、鲁志，中国科学院上海生命科学研究院计算生物学研究所韩敬东，中国科学院遗传与发育生物学研究所王秀杰，复旦大学生物统计研究所田卫东，中国科学院北京基因组研究所张治华、蔡军、翟巍巍、黄颖、阮珏参与了生物信息学章节的撰写；中国科学院生物物理研究所毕利军、樊勇、范祖森、冯巍、杭海英、胡云、蒋太交、李国红、李佳、李岩、娄继忠、马秋云、马跃、潘聪燕、施立楠、石娜、王江云、王艳丽、向桂林、徐平勇、杨福全、杨薇、叶盛、张荣光、郑丽、朱平、朱岩，北京大学陈良怡，中国科学院北京基因组研究所于军提供了新技术新方法章节的资料或参与撰写。

2012年2月底，在生命科学和医学学部常委会会议上，与会院士对本书框架初稿进行了审议，提出了中肯的意见和建议。会后，工作组专门召开会议，针对院士们的意见和建议进行了认真的修改和补充，总体上增加了绪论——生命科学发展概述。此后，工作组又邀请生物学领域的院士和专家对本书具体内容做了进一步评审，工作组根据评审意见又做了修改和完善。

由于体量有限，且生命科学的发展非常迅速，所以本书不可能涵盖生命科学的所有热点领域，因此，项目组将持续开展研究，针对生命科学发展中的前沿热点和重大问题，将报告分为第一部、第二部、第三部……延续下去，以更好地为相关的科研和管理提供咨询参考。

林其雄

2012年10月



生物学是以生物的结构、功能、发生和发展的规律，以及生物与周围环境的关系为研究对象的一门学科。随着研究的不断深入，生物学研究逐渐呈现出向着更微观和更宏观、最基本和最复杂的两极化发展。

本书首先对生物学领域的发展态势进行了总体的介绍，并选取了其中 10 个前沿、热点主题，包括系统生物学、合成生物学、结构生物学、转化医学（神经科学）、干细胞与再生医学、药学科学、生物育种、生物进化、生物信息学、新技术新方法。邀请了 10 余位专家对这些主题领域中国内外的科技规划、最新进展等进行了归纳、提炼，从宏观角度对这些领域的发展态势进行了分析，对未来的发展做出了预测，同时提出了针对性的发展建议，以期发挥学术引领作用，为科研人员确定未来研究方向提供支持，同时也作为管理人员制定科研决策的参考依据。

系统生物学是后基因组时代的新兴交叉学科，并正在逐渐成为当前国际生命科学研究的一个主流学科，在人口健康领域得到了高度的重视和广泛的应用。系统生物学主题梳理了美国、英国等国近年来制定的政策规划及机构构建情况，分析了这些国家在系统生物学领域的发展战略，并与我国的发展现状进行了对比，指出了我国在系统生物学发展中存在的问题，并针对性地提出了未来发展的建议。

合成生物学是一门生物学与工程学交叉的新兴学科，自诞生至今，已在医药、能源、环境、农业等多个领域展现出巨大的应用前

景和发展潜力。合成生物学主题在阐明合成生物学的概念、特点和发展历程的基础上,从政策规划、机构设置及科研进展等多个角度阐述了国内外合成生物学领域的发展现状;同时分析了合成生物学所面临的机遇与挑战,以及我国合成生物学发展中存在的问题,并对未来的发展提出建议。

结构生物学是现代生命科学的一个重要分支,对于理解生命现象背后的分子基础具有不可替代的作用。结构生物学还为新药的设计及优化提供了重要线索。结构生物学主题就国际及国内结构生物学发展现状及趋势进行了分析,指出了我国在结构生物学研究中的优势领域,同时针对结构生物学研究的现状提出了我国在该领域中所面临的问题,并相应提出了未来发展的建议。

转化医学是医学研究的一个分支,其核心是将医学生物学基础研究成果迅速有效地转化为可在临床实际应用的理论、技术、方法和药物。在转化医学主题内,选取了神经科学作为代表。从神经元的分子细胞生物学、神经环路的形成和信息处理、认知的神经基础、神经系统疾病防治与精神心理健康、人工智能、活体研究方法与技术等多个层面对神经科学的发展态势进行了分析。

干细胞是一类兼具自我更新能力和形成分化细胞能力的细胞,在个体发育和疾病发生中扮演重要的角色,也是再生治疗过程中重要的“种子”细胞。干细胞主题从胚胎干细胞、成体干细胞、诱导多能干细胞、干细胞相关伦理和法律建设等多个方面对国际干细胞领域发展的总体态势和国内外的现状进行了详细分析,并在此基础上提出了我国在干细胞与再生医学领域发展中存在的问题和相应建议。

药学科学是研究药物及其作用规律的科学,是国际科技和经济竞争的重要战略制高点之一,是提升人口健康质量水平的重要支撑。药学主题详细阐述了当前药学学科的前沿领域,包括网络药理学、糖类药物、G蛋白偶联受体靶向药物、老药新用、微小RNA(microRNA)药物、单克隆抗体药物、新型基因工程重组蛋白质及多肽药物、复方药物、生物标志物与个性化治疗的国内外科研现

状, 分析了我国在各个前沿领域中存在的问题, 并就各个领域提出了合理化、科学化发展建议。

生物育种对于应对全球粮食危机、发展现代绿色农业、保障国家种业安全具有十分重要的战略地位。生物育种主题从基因组研究进展、转基因研发及产业化、全基因组选择育种技术、种质资源创新与新基因发掘、育种目标的发展与可持续发展、设计育种等方面系统地分析了生物育种相关领域的国际发展态势, 阐述了国际和国内科研发展现状, 总结了我国分子育种领域存在的问题, 并提出了相关建议。

生物进化是指在自然选择的作用下, 生物适应特定的环境, 且适应性的遗传变异延续下来的过程。生物进化主题从系统发育、家养动物驯化机制、系统地理、适应机制等四个方面阐述了国际上开展生物进化研究的最新动态, 同时针对我国在生物进化领域的发展现状, 提出了我国存在的问题及发展建议。

大规模、高通量实验的发展产生了大量的生物学数据, 理解大量生物学数据所包含的生物学意义已成为后基因组时代极其重要的课题, 而生物信息学这一交叉学科将在其中扮演重要的角色。生物信息学领域的一些核心研究课题包括编码区域基因/非编码区域 RNA 信息结构分析、基因组和表观基因组学生物信息分析、生物大分子的结构预测、基因网络的生物信息学, 以及群体基因组信息学。随着新一代测序技术的发展, 测序相关的生物信息学新理论与新方法也成为生物信息学研究的核心课题之一。生物信息学主题则针对这些核心研究方向的总体发展趋势和国内外的发展现状进行了分析, 并对生物信息学领域发展中存在的问题和未来发展方向提出了一些意见和建议。

生命科学的发展离不开技术创新, 方法技术上的重大突破将带动学科的发展。新技术主题从技术方法的总体发展趋势、国际科研发展现状、我国发展现状、我国在该领域发展中存在的问题, 以及未来发展的建议等五个方面对生命领域新技术、新方法的研究发展进行了阐述。文中主要关注的技术方法包括基因操作技

术、蛋白质研究技术、结构生物学技术、单分子技术、细胞技术、成像技术、计算与系统生物学技术，以及合成生物学技术等八个方面。同时，也阐述了这些技术在我国发展的趋势、优势单位和亮点工作。