

学术引领系列



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

## 发育生物学

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

## 发育生物学

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

发育生物学/国家自然科学基金委员会,中国科学院编. —北京:科学出版社, 2019. 4

(中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-060940-3

I. ①发… II. ①国… ②中… III. ①发育生物学—学科发展—发展战略—中国 IV. ①Q132-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 056713 号

丛书策划: 侯俊琳 牛玲

责任编辑: 牛玲 李世霞 / 责任校对: 韩杨

责任印制: 徐晓晨 / 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>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年4月第一版 开本: 720×1000 B5

2019年4月第一次印刷 印张: 13 1/2

字数: 216 000

定价: 86.00 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：丁仲礼 李静海  
副 组 长：秦大河 韩 宇  
成 员：王恩哥 朱道本 陈宜瑜 傅伯杰 李树深  
杨 卫 汪克强 李 婷 苏荣辉 王长锐  
邹立尧 于 晟 董国轩 陈拥军 冯雪莲  
王岐东 黎 明 张兆田 高自友 徐岩英

## 联合工作组

组 长：苏荣辉 于 晟  
成 员：龚 旭 孙 粒 高阵雨 李鹏飞 钱莹洁  
薛 淮 冯 霞 马新勇

# 中国学科发展战略·发育生物学

## 编委会

组 长：孟安明

成 员：王海滨 杨 晓 刘春明 薛勇彪 林鑫华  
罗凌飞 季维智 赵 允 景乃禾 陶庆华  
段恩奎 陈大华 时玉舫 朱大海 温子龙  
贾顺姬



---

# 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 20 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。

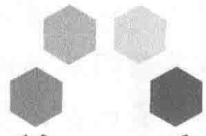
基金委和中科院共同组织的学科发展战略研究既分析相关学科领域的发展趋势与应用前景，又提出与学科发展相关的人才队伍布局、环境条件建设、资助机制创新等方面的政策建议，还针对某一类学科发展所面临的共性政策问题，开展专题学科战略与政策研究。自2012年开始，平均每年部署10项左右学科发展战略研究项目，其中既有传统学科中的新增长点或交叉学科，如物理学中的软凝聚态物理、化学中的能源化学、生物学中的生命组学等，也有面向具有重大应用背景的新兴战略研究领域，如再生医学、冰冻圈科学、高功率、高光束质量半导体激光发展战略研究等，还有以具体学科为例开展的关于依托重大科学设施与平台发展的学科政策研究。

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勤劳动，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

---

发育生物学是研究多细胞生命个体的发育、生长、稳态维持和衰老过程的一门科学，力求了解生物个体的配子形成、受精、胚胎的发育、组织器官形成和稳态维持、个体衰老等过程的规律，关注生物个体如何由单细胞发育成为由多种组织、多种器官组成的高度复杂的生物体，个体如何维持或改变组织和器官的结构与功能、如何代代相传繁衍不息等重大科学问题。自 20 世纪以来，发育生物学研究取得了一些重大的科学发现，形成了重要的理论，在生命科学领域发挥了引领作用；也催生了一些重大技术突破，促进了生命科学和医学的革命性进步。21 世纪是生命科学的世纪。一方面，作为生命科学的核心学科之一的发育生物学进入了新的快速发展阶段，研究热点领域发生了变化，与遗传学、细胞生物学、生物化学、基础医学等学科的交叉和融合越来越多。另一方面，人口膨胀和老龄化使人类社会面临健康和食物供应等方面的重大挑战，人类社会经济活动对生态的压力急剧增加，也亟须对动植物发育规律、发育进化开展深入研究，以服务于人类健康和经济社会的发展。

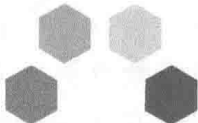
经国家自然科学基金委员会-中国科学院学科发展战略研究工作联合领导小组批准，2014 年“发育生物学研究热点及前沿学科发展战略研究”项目立项。本项目旨在通过深入调研，明确发育生物学学科的发展规律和特点，评估我国发育生物学领域的发展态势，提出发育生物学领域的关键科学问题、发展思路、发展目标和重要研究方向，提出相关的资助机制与政策建议，从而促进我国发育生物学学科的发展。本书基于项目的调研和咨询成果，重点阐述发育生物学研究的科学意义与战略价值、总结我国发育生物学研究

状况、分析发育生物学研究的当前热点与趋势、提出我国发育生物学优先研究方向，可作为有关部门决策的参考，也可供发育生物学领域的研究人员借鉴。值得一提的是，项目组提出的部分优先研究方向已纳入国家重点研发计划“生殖健康及重大出生缺陷防控研究”重点专项或“发育编程及其代谢调节”重点专项，进入实施阶段。由于项目组学识有限，书中内容难免有偏颇和挂一漏万之处，请读者理解和包涵。

经过来自清华大学、北京大学、浙江大学、山东大学、西南大学、香港科技大学、中国科学院动物研究所、中国科学院遗传与发育生物学研究所、中国科学院昆明动物研究所、中国科学院植物研究所、中国科学院上海生命科学研究院、中国科学院水生生物研究所、中国人民解放军军事医学科学院、中国医学科学院基础医学研究所等单位的发育生物学和医学专家、学者的多次研讨，本书最后成稿由孟安明、王海滨、杨晓、刘春明、薛勇彪、林鑫华、罗凌飞、季维智、赵允、景乃禾、陶庆华、段恩奎、陈大华、时玉舫、朱大海、温子龙、贾顺姬等完成。在项目执行过程中，国家自然科学基金委员会生命科学学部的谷瑞生和田艳艳，以及中国科学院学部工作局的薛淮和龚剑明等同志给予了有益的指导、大力的支持和关心。在此，对参与本项目研讨、调研、撰写报告等的所有人员表示衷心的感谢！

孟安明

2018年10月



---

# 摘 要

---

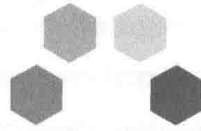
21 世纪被称为生命科学和生物技术的时代，而发育生物学研究已成为 21 世纪生命科学的“新主角”。在发展历程上，发育生物学基础研究历经形态描述、细胞描述、分子机理三个阶段。进入 21 世纪后，发育生物学的研究重点逐渐开始了由点及面的过渡，从分子水平上深入了解各发育过程或发育现象的分子信号和细胞调控网络，呈现以下几个显著特点：①广泛应用合适的模式系统；②研究的在体性；③强调动态性、可视化；④强调分子机理的研究；⑤多学科交叉性。发育生物学研究成果不仅有助于理解生命过程的本质，还可帮助从根本上认识各种生殖发育缺陷和疾病的产生原因，为诊断、预防和治疗提供新的理论和途径。因此，发育生物学研究水平正逐步成为衡量一个国家或地区科技发展水平与健康水平的重要标志之一。

发育是生命体以遗传信息为指令，循序自我组装和自我控制来完成生命周期的过程。目前，国际上发育生物学研究的前沿热点包括：亲源因子在早期胚胎中的功能与代谢，合子基因组重编程和转录激活机制，胚胎和组织中图式形成的调控，形态素浓度梯度形成模式和作用，细胞周期与细胞命运的偶联，母胎互动决定妊娠结局的分子机制，流产与出生缺陷的遗传和表观机制，胚胎组织器官原基形成的调控机制，组织器官形成中的细胞分化和形态建成机制，组织器官生长与尺寸控制，组织器官的协同发育机制，代谢对组织器官发育和稳态的调节作用，胚胎附属（胚外）组织的形成及其对胚胎发育的调控，先天器质性疾病的发生机制，成体多能细胞的鉴定和胚胎来源，成体多能细胞的激活、增殖与分化，成熟组织器官的稳态维持机制，组织器官的损伤修复机制，组织器官再生机制，

无性染色体物种的性别决定机制，原始生殖细胞（PGC）命运决定和归巢机制，原始生殖细胞减数分裂的启动和进程的调控，生殖细胞与体细胞的互作机制，卵泡存活的调控，生殖细胞成熟的调控机制，不孕不育的遗传和环境机制，体细胞向生殖细胞转分化研究，植物生长点与器官形态建成，植物环境感应与发育的可塑性，植物细胞命运决定与全能性，植物传粉与受精的分子机制，植物胚胎和胚乳的发育，环境因素对生殖发育的影响，发育程序的进化机制，发育生物学研究技术的创新等。

我国是世界第二大经济体，正在向成为第一大经济体和科技强国的方向前进，加强支持发育生物学研究对于引领生命科学前沿意义重大。同时，我国还是人口大国，育龄期不孕不育患者、出生缺陷儿、发育相关成年疾病患者的绝对数都居世界第一。自2000年以来，我国发育生物学领域的研究水平快速提升，目前科研产出已居世界第二位，国际影响力已有大幅提升。我国应进一步加强发育生物学学科发展，选准方向，加大投入，力争在发育与生殖的理论方面获得重大的突破，在若干研究方向发挥引领作用，使我国成为发育生物学领域的强国，为我国人口健康提供支撑、为生物医药和健康产业的发展提供动力、为农业生产力进一步提升夯实基础。为此，我国应优先布局以下研究方向：出生队列及辅助出生队列研究，猪、猴发育特性与相关人类重大疾病，母源因子（maternal effect factors）的作用及其机制，胚胎发育及胚源性疾病，组织器官的稳态维持，人造组织器官，生殖细胞减数分裂的调控，生殖障碍的发生机制，植物发育可塑性，植物生殖隔离、生殖障碍的形成和演化机制，植物中物质长距离运输，公共资源平台与数据库。

为了促进我国发育生物学领域的快速发展，国家在科研管理体制上还需加大改革力度，加强符合科学发展规律的管理制度的建设。首先，未来的研究应顶层设计与自由探索并举，强调战略性、前瞻性，重视特色，鼓励多学科联合攻关。其次，建立对优秀人才、优秀项目持续稳定支持的机制。再次，完善项目的立项和评审的机制，做到公平、公正、透明。最后，简化科研经费的预算科目，提高项目结题验收的标准。



---

## Abstract

---

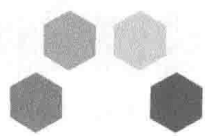
The 21st century is the life science and biotechnology century in which developmental biology plays a leading role. Research in the field of developmental biology has gone through three stages: morphological description, cellular mechanism and molecular mechanism. In the 21st century, focuses on key developmental processes have shifted from single cell type to interaction among different cell types and from one molecule to multi-molecule networks. Current studies in the field show several characteristics including extensive use of suitable model systems, whole organism level, dynamic visualization, detailed molecular mechanism and interdisciplinary cooperation. Research findings from developmental biology studies will not only contribute to understanding the nature of life but help identify causative factors of human reproductive and developmental defects and diseases. The latter may be applied for diagnosis, prevention and therapy. Therefore, research capacity in developmental biology is becoming one of important indications for science and health levels of a nation or a region.

Development of an organism is a self-command and self-assembly process under the instruction of genetic information. The important research areas in developmental biology include developmental and metabolic functions of parental factors during early embryogenesis, reprogramming of the zygotic genome and

zygotic genome activation, regulation of patterns in embryos and tissues, morphogen pattern formation and function, coupling of cell cycle and cell fate, molecular mechanisms underlying mother-embryo interaction for pregnancy outcome, genetic and epigenetic mechanisms of abortion and birth defects, regulation of tissue/organ primordia formation, mechanisms of cell differentiation and morphogenesis during organogenesis, growth and size control of organs, coordination during formation of different organs, regulatory function of metabolism on development and homeostasis, regulation of embryonic development by extraembryonic tissues, mechanisms of congenital organ defects, identification of adult stem cells and their embryonic origins, activation of proliferation and differentiation of adult progenitor cells, regulatory mechanisms of homeostasis of adult tissues and organs, mechanisms of tissue/organ damage and repair, mechanisms of tissue/organ regeneration, mechanisms of fate determination and homing of primordial germ cells, regulation of meiosis initiation and progressing of primordial germ cells, interaction of germ cells with somatic cells, regulation of follicle survival, regulation of germ cell maturation, genetic and environmental influence on infertility, transdifferentiation of somatic cells to germ cells, plant meristem and organogenesis, response of plants to environmental cues and developmental plasticity, plant cell fate determination and totipotency, regulation of plant pollination and fertilization, development of plant embryo and endosperm, impact of environmental factors on reproduction and development, evolution of developmental programs, and technology innovation for developmental biology studies.

China is the second largest economy and is moving towards the first place in economy as well as in science and technology. Strengthening of developmental biology studies will be essential to

lead life sciences in the near future. Besides, China has the largest population with the highest number in infertility, birth defects and development-related adult diseases. Since 2000, research level in developmental biology in China has been rapidly elevating. Now the number of publications in this field in China is the second highest in the world and the impact has been increasing markedly. It is a right time for the government to invest more on developmental biology research in priority areas to make significant breakthroughs in basic theory and advanced technology, which would provide support for population health, give renewed impetus to the biomedical and health industries, and form solid foundation for continuous gains in agricultural productivity. The priority areas in developmental biology research in China would include analysis of natural birth cohort and assisted reproductive technology birth cohort, developmental characteristics of pigs and monkeys and modeling of related human diseases, functional and mechanistic studies of maternal factors, embryonic development and embryo-derived diseases, homeostasis of important tissues and organs, generation of organoids, regulation of germ cell meiosis, mechanisms of infertility, developmental plasticity of plants, emergence and evolution of reproductive isolation and reproductive barriers in plants, long-range transportation of substances in plants, and public resource banks and databases.



---

# 目 录

---

总序 .....	i
前言 .....	v
摘要 .....	vii
Abstract .....	ix
<b>第一章 发育生物学研究的科学意义与战略价值 .....</b>	<b>1</b>
第一节 发育生物学研究在生命科学领域发挥着支撑和引领作用 .....	1
第二节 发育生物学研究可带动生命科学领域的重大技术突破 .....	2
第三节 发育生物学研究的国家需求 .....	3
一、人类对避孕节育的现实需求 .....	3
二、诊治相关不孕不育,提高辅助生殖效率的重大需求 .....	4
三、减少出生缺陷,实现优生优育的需求 .....	4
四、有效保障我国儿童健康成长的需求 .....	5
五、从发展源头上防治胚源性疾病的需求 .....	6
六、防治成年期器质性疾病的需求 .....	6
七、发育生物学研究是农业发展的重要科学动力 .....	7
<b>第二章 我国发育生物学研究概况 .....</b>	<b>8</b>
第一节 研究机构 .....	8
第二节 国内外论文产出比较 .....	9
第三节 我国的部分代表性重要成果 .....	13
一、生殖调控与疾病方面 .....	14
二、胚胎与器官发育方面 .....	16
三、植物的生殖与发育方面 .....	17
四、研究系统、平台与资源库建设方面 .....	18
第四节 国内外差距分析 .....	18