



发育与生殖计划, 20年的历史记忆 ——纪念发育与生殖重大科学研究计划启动20周年

段恩奎*

中国科学院动物研究所, 北京 100101

* 联系人, E-mail: duane@ioz.ac.cn

收稿日期: 2026-05-21; 接受日期: 2026-05-27; 网络版发表日期: 2026-09-21

国家重大科学研究计划“发育与生殖研究”(以下简称“发育与生殖”计划)的启动是21世纪中国发育与生殖研究领域具有里程碑意义的重大事件之一。由于该计划的实施、重要性、强大的生命力和深远影响力(两届专家组成员名单见表1和2), 在“十二五”之初派生出“干细胞研究”国家重大科学研究计划(首届专家组成员名单见表3), 随后在“十三五”“十四五”又相继布局了“生殖健康及重大出生缺陷防控研究”“干细胞及转化研究”和“发育编程及其代谢调节”三个国家重点研发专项。这些专项均直接发源于“发育与生殖”计划。

在该计划及后续三个重点研发专项连续10年的有力支持下, 中国已在发育与生殖领域建立了稳定、高水平科学研究平台, 引进、汇聚并造就一大批具有国际竞争力的优秀人才, 涌现出一批具有重要国际影响力的顶尖团队, 产出一系列国际领先的原创性成果, 显著提升我国在发育与生殖领域的学术话语权与国际地位。适逢“发育与生殖”计划启动20周年, 特撰此文, 回望那段激情燃烧的科研岁月和历史事件, 纪念那一代科学家筚路蓝缕的奋斗历程、矢志报国的奉献精神 and 家国情怀。

1 背景介绍

1.1 茶歇讨论催生的战略构想

2002年8月31日, 中国科学院研究生学位授予审核会在玉泉路研究生院本部召开, 茶歇期间, 生命科学学位评审组专家们从2层会议室阳台上远眺, 只见周边多个大楼基建场地塔吊林立, 锦旗飘扬, 修桥铺路, 热火朝天。看着当时国家在基础建设上投入较大, 而基础科研经费却明显不足。一批当时还年轻的科学家们向裴钢院士建议: 呼吁国家加大基础研究投入, 让科学家们能安心开展研究, 顺应国际生命科学发展潮流。裴钢问: “重点做什么?”, 大家从世纪之交的几项标志性科技突破谈起——克隆羊“多利”、人类胚胎干细胞、转基因动物——源头均离不开胚胎的基础研究, 一致认为加强生殖生物学基础研究应作为重点方向。

1.2 国家征集面向2020年的中长期科技发展规划纲要建议

2003年6月23日, 国家启动面向2020年的中长期科技发展规划战略研究。裴钢院士提议, 由中国科学院上海分院前院长汤章城研究员负责调研并起草“生殖研究15年”研究计划初稿。通过在北京某宾馆开展封闭式

引用格式: 段恩奎. 发育与生殖计划, 20年的历史记忆——纪念发育与生殖重大科学研究计划启动20周年. 中国科学: 生命科学

Duan E K. Research program on development and reproduction: a 20-year retrospective—On the 20th anniversary of the launch of the major scientific research program on development and reproduction (in Chinese). Sci Sin Vitae, doi: [10.1360/SSV-2026-0132](https://doi.org/10.1360/SSV-2026-0132)

表 1 首届发育与生殖计划专家组成员(2006年9月~2011年2月14日)

Table 1 Member of the first expert panel for the Developmental and Reproductive Program (September 2006–February 14, 2011)

职务	人员组成						
组长	裴钢						
副组长	段恩奎 李宁						
成员	张永莲	孟安明	陈香美	朱大海	裴雪涛	裴端卿	
	曹谊林	沙家豪	季维智	周琪	李凌松		

表 2 第二届发育与生殖计划专家组成员(2011年2月15日~2014年10月)

Table 2 Members of the second expert panel for the Developmental and Reproductive Program (February 15, 2011–October 2014)

职务	人员组成 ^{a)}							
召集人	李宁	时玉舫	段恩奎					
成员	丁胜*	马红	史庆华	张永莲	孟安明	陈香美		
	沙家豪	季维智	饶毅	桂建芳	薛人望*	薛勇彪		

a) * 海外专家

表 3 首届干细胞计划专家组成员(2011年2月15日~2014年10月)

Table 3 Members of the first expert panel for the Stem Cell Program (February 15, 2011–October 2014)

职务	人员组成 ^{a)}							
召集人	裴钢	周琪	裴端卿					
成员	王小凡*	孙方霖	许瑞明	朱剑虹	李凌衡*	肖磊		
	松阳洲	林海帆*	高绍荣	景乃禾	程涛	裴雪涛		

a) * 海外专家

集中研讨, 形成了“生殖研究十五年”计划建议稿。随后, 专家们经过多轮次反复讨论和修改, 计划名称也由“生殖研究十五年”逐步完善为“生殖与发育研究”, 最终定名为“发育与生殖研究”, 该建议在数十个申报建议书中脱颖而出, 被纳入国家中长期科技发展规划纲要, 成为基础领域四个重大科学研究计划之一。

1.3 国务院正式批准基础领域四个重大科学研究计划

2006年初, 科学技术部按国务院要求, 正式公布了“纳米科技”(白春礼、解思深分别担任组长和副组长)、“量子调控”(闵乃本、于禄、郭光灿分别担任组

长和副组长)、“蛋白质科学”(饶子和、贺福初分别担任组长和副组长)和“发育与生殖”(裴钢、段恩奎、李宁分别担任组长和副组长)四个重大科学研究计划正式启动实施¹⁾, 四个重大科学研究计划被纳入“国家重点基础研究发展计划(973计划)”中统一管理。

中国科学院和科学技术部于2006年4月4~5日在北京召开了主题为“生殖发育研究与人类健康”的第274次香山科学会议, 裴钢院士、张先恩研究员、段恩奎研究员、朱大海研究员和李凌松教授共同担任会议执行主席, 强伯勤院士、朱作言院士、张永莲院士、王琳芳院士、刘以训院士和张亚平院士等30位院士和专家参加会议并进行深入讨论。会议形成“关于尽快启动‘发育与生殖重大科学研究计划’的建议”, 明确总体目标、实施方案, 以及“十一五”和“十二五”期间的研究方向设置和阶段目标²⁾。

2 总体目标和实施方案

2.1 香山会议专家共识

与会专家一致认为, 当时生命科学领域面临的一项重大挑战是: 必须大力加强生殖和发育领域的基础研究, 深入阐明控制生殖和发育关键环节(如生殖细胞发生和成熟、受精、早期胚胎发育、胚胎与母体互动、机体衰老等)的特异基因和分子机制。在此基础上, 开发新型避孕靶点与方法; 减少出生缺陷, 完善辅助生殖技术, 延缓衰老进程; 同时揭示体细胞去分化和干细胞分化的分子控制机制和规律, 促进治疗性克隆服务于人类健康。专家们围绕干细胞增殖与分化、生殖细胞发生、成熟与受精、胚胎发育与器官形成、体细胞去分化和动物克隆以及辅助生殖及干细胞技术的安全和伦理等重大科学问题, 进行了广泛交流与深入讨论。专家们指出, 近年来我国在人口与健康领域, 虽然某些方面已经取得一系列重要进展, 但总体研究水平仍落后于发达国家, 科学研究缺乏系统性和有机集成, 重大理论突破不足, 研究成果产业化进程缓慢。

2.2 总体目标

针对我国人口持续增长、出生缺陷高发、组织器官短缺以及退行性疾病防治的战略需求, 围绕干细胞

1) 基础研究·重大科学研究计划, 摘自《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》

2) “生殖发育研究与人类健康”第274次香山科学会议纪要, 2006年4月4~5日, 北京香山饭店

增殖、分化和调控、生殖细胞发生、成熟与受精、胚胎发育的调控机制、体细胞去分化和动物克隆机理, 人体生殖功能的衰退与退行性病变机制, 辅助生殖与干细胞技术的安全和伦理等重大科学问题, 以发育生物学和再生医学为主线, 重点布局干细胞与组织工程技术、克隆技术、生殖细胞发生与胚胎发育、生殖健康等领域的研究。同时建立配套的生物信息学和组学研究平台和方法, 开发有效研究模型, 集成研究资源, 建立交叉技术平台和研究基地, 注重伦理规范及生物安全。通过系统设计、开放创新、共享资源、集成技术, 实现重点突破, 为降低出生缺陷、提高人口健康水平, 以及加快干细胞技术、克隆技术、生殖控制技术和组织工程技术的研发与产业化提供重大理论和关键技术支撑, 从而推动我国进入生殖发育研究与应用的世界强国行列。

2.3 实施方案

在国家强有力的支持下, 通过体制机制改革创新, 依托干细胞资源与标准化技术平台、发育与生殖研究动物模型基地、发育与生殖研究临床基地、发育与生殖研究的系统生物学平台、动物克隆和治疗性克隆技术5大技术平台, 充分发挥现有研究基础和交叉学科优势, 组织全国力量, 引进拔尖人才, 推进科技跨越发展, 力争在发育与生殖科学理论上取得重大突破和技术创新, 提高我国人口素质和健康水平, 促进社会主义和谐社会的建设, 最终推动我国经济社会的可持续发展。

2.4 重要支持方向

面向2020年的总体支持方向包括胚胎与器官发育、生殖调控与生殖健康、干细胞与体细胞重编程以及发育与生殖研究的伦理与安全, 为了与时俱进地更新计划任务, 初步规划了“十一五”和“十二五”的支持方向和任务。

2.4.1 “十一五”支持方向

(i) 胚胎与器官发育。包括: 胚胎早期发育和图式建立的分子调控, 重要组织器官形成的规律和机理, 出生缺陷的发生机理及遗传诊断, 胚胎和组织器官发育研究的新技术、新方法和平台建设。(ii) 生殖调控与生殖健康。包括: 原始生殖细胞的命运决定与迁移, 生殖细胞健康的分子基础, 妊娠识别与免疫豁免, 生殖

功能的维持与衰老。(iii) 干细胞与体细胞重编程。包括: 干细胞自我更新与多能性, 胚胎干细胞的组织特异性分化与定向诱导, 体细胞重编程与克隆, 干细胞与人类重大疾病。(iv) 发育与生殖研究的伦理和安全。包括: 辅助生殖与干细胞的伦理学准则与管理研究, 胚胎操作安全性评估研究。

2.4.2 “十二五”重点支持方向

鉴于“十二五”初期, “干细胞研究”已经从发育与生殖计划中独立出来, 单独设立了重大科学研究计划, “十二五”“发育与生殖”计划不再包括干细胞研究内容, 共设置安排了四个重点支持方向: (i) 胚胎与器官发育, (ii) 生殖发育与生殖调控, (iii) 发育与生殖相关重大疾病的基础研究, (iv) 发育与生殖研究系统平台。

发育与生殖重大科学研究计划从2006年到2015年, 共支持了80余个项目, 团结凝聚了2000余名科学家投身到这个领域, 开展了系统性研究与联合攻关。

3 实施效果

在该计划持续10年的支持以及后续的积累下, 发育与生殖重大科学研究计划取得显著成效。

3.1 重大成果不断涌现

在国际上首次成功培育出基因编辑的食蟹猴, 被评价为人类疾病模型建立的“里程碑”, 入选“MIT Technology Review 2014年世界十大科技进展”和“Nature 2014年度科学事件”; 通过创新细胞重编程与个体生殖技术, 首创了小鼠孤雄单倍体干细胞系, 这些单倍体干细胞具有典型的小鼠胚胎干细胞特征和发育潜能, 并能够形成嵌合体小鼠, 当把这些细胞注入卵母细胞后能够代替精子完成授精并产生健康小鼠, 挑战和改写生物学教科书中的“发育规则”, 让中国在干细胞多能性、单性生殖等基础研究领域从“追赶者”变成了“定义者”; 通过发现母源因子Huluwa, 颠覆了发育生物学教科书中关于“体轴决定”的传统认知; 诞生了世界首例MALBAC试管婴儿, 通过基因筛查阻断了单基因遗传病、首次绘制了人类胚胎着床过程(第5~14天)转录组与甲基化图谱; 完成首例“PGD+无创产前”联合阻断遗传性耳聋; 提出并证实极体移植可有效阻断线粒体遗传病的传递; 通过大规模、多中心的随机对照

试验(RCT), 为辅助生殖的临床实践提供最高级别的“中国循证证据”; 将出生缺陷的防线从“产前”大幅前移至“孕前”甚至“配子阶段”, 建立了国际领先的胚胎植入前遗传学检测(PGT)技术体系, 开创“发育源性疾病”研究新范式, 实现了从“被动防御”到“主动出击”的战略转变; 利用非人灵长类模型, 打开人类胚胎发育第14~28天的“黑匣子”, 创造体外培养时长的世界纪录; 发现动物DNA去甲基化的分子通路(Tet-TDG), 解决细胞命运转变过程中“基因上的甲基化标记如何被精准擦除”这一表观遗传学长期悬而未决的难题; 首次在天然状态下解析完整神经突触的高精度三维结构, 揭示抑制性神经突触中GABA_A受体独特的“中介相(mesophasic)”组织架构, 为从最根本的超微结构层面理解大脑的信息处理与记忆机制打开全新的窗口; 首次发现水稻中大量散布于基因附近的转座子可产生小RNA并精细调控旁侧基因的表达, 从而控制农艺性状, 不仅验证了诺贝尔奖得主麦克林托克当年的假说, 更为从表观遗传角度进行作物分子设计育种提供了全新线索和手段; 通过将GRF4-DELLA平衡向GRF4丰度的增加倾斜, 在维持半矮化优良性状的同时提高“绿色革命”品种的氮肥利用效率并增加谷物产量, 提出一种新的育种策略, 宣告了“一场新的绿色革命即将到来”, 不一而足. 这些代表性成果并不是独立存在, 而是着眼于国家战略需求, 根植于中国生命科学研究优渥的土壤, 顶层设计、系统集成、日积月累、协同攻关、重点突破的结果, 也得益于改革开放, 国家经济状况日益提升, 国家重视基础研究投入, 给予了足够的科研经费支持.

项目首席科学家、课题负责人、研究骨干参与的研究成果中有12项被推选为中国科学十大进展, 荣获多项国家自然科学基金或国家科技进步奖. 多位项目首席科学家、课题负责人或研究骨干在国际有重要影响力的刊物上发表大量原创性成果, 标志着我国在该领域的基础研究水平进入新高度.

3.2 科研基地建设迈上新台阶

项目实施期间, 在昆明建立“灵长类动物研究基地”、在北京建立“小型猪研究基地”、在武汉建立“斑马鱼研究基地”, 并完善了南京“转基因小鼠研究基地”. 这些基地在“十三五”和“十四五”期间, 继续为发育与生殖相关重点研发专项工作的研究发挥举足轻重

的作用. 经新一轮国家重点实验室优化重组, 目前已经正式获批“女性生育力促进全国重点实验室”“生殖医学与子代健康全国重点实验室”“器官再生与智造全国重点实验室”和“核糖核酸功能与应用全国重点实验室”等发育和生殖基础研究基地, 以及一批生殖医学相关的国家临床研究中心.

3.3 技术创新与临床转化

我国技术创新极具“底层突破”特色. 如, 基因编辑在单基因编辑的基础上, 进一步发展“精准改写基因组”(单碱基改写)、“重写基因组”(大片段写入)、“重构染色体”(合成生物学)和“打破生殖边界”(单性生殖), 首次实现了哺乳动物完整染色体的精准融合与重排; 同时聚焦“让编辑更安全”(降脱靶)、“让编辑更全能”(线粒体/表观)以及“让工具发现更智能”(AI大模型), 将基因编辑技术从“剪断DNA”推向“全维度精准调控”的新高度.

在成果转化方面, 女性生育力促进全国重点实验室实现了从“人类胚胎发育”基础机制到“辅助生殖”临床实践的全链条突破. 生殖医学与子代健康全国重点实验室用最高级别的医学证据(RCT)改写了全球辅助生殖的临床指南. 他们不仅让技术“能用”, 更通过大数据告诉医生“怎么用才最划算、最安全”, 实现了从“技术跟跑”到“标准制定”的跨越. 在干细胞研究领域的成果转化极具“硬科技”色彩. 它不仅局限于单一药物、单一环节研发, 而是构建“细胞药物-人工器官-智造装备”三位一体的转化矩阵, 推动我国干细胞治疗走向规范的临床前验证与产业化落地, 专利转化成绩喜人.

3.4 人才培养和国际影响力

通过项目实施和后续积累, 我国在发育与生殖领域的国际影响力日益提升. 2014年, 张永莲院士作为大会主席在上海组织召开第六届国际附睾大会, 首次将国际附睾大会引入中国, 确立中国在精子成熟与男性避孕研究领域的全球领导地位; 2015年, 孟安明院士作为亚太发育生物学国际研讨会(APDBC)主席和学术委员会主席, 在西安组织召开了亚太发育生物学国际研讨会, 并在会议期间主持了APDBN联席会议, 确定了后续亚太地区发育生物学的合作路线图; 从2014年起, 周琪院士作为国际干细胞组织(ISCF)轮值主席, 利用ISCF平台, 将中国干细胞库标准和临床备案管理模

式推向国际,主导了全球干细胞研究路线图;2019年,陈子江院士作为会议共同主席在上海组织召开了第23届国际生殖协会联盟(IFFS)大会,并被选为IFFS首位华人秘书长,成功主导了这次“破冰之旅”,会议吸引全球600余位国际代表,让中国从“参会者”变成了“主办方”;2019年,乔杰院士作为发起人和会议主席,在北京组织召开首届生殖基因组学大会暨国际生殖遗传学会(ISRG)成立大会;2018年,黄荷凤院士作为名誉主席/大会主席,在哈尔滨组织召开了第三届国际围产医学论坛。

我国该领域有21人次受聘担任国际学会领导职务,31人次出任国内外高水平期刊主编、副主编,展现了我国科学家的国际影响力。

总之,通过项目实施和后来的持续积累,培养和聚集了一大批优秀学科带头人、国际知名科学家。近20位首席科学家、课题负责人或骨干成长为院士、杰出专家,新增数百名国家级领军人才,这些青年才俊已经陆续成为国家生命科学与医学领域科研、临床和转化开发的骨干人才。可见,实施人才强国战略,后继有人。

4 经验与启示

2026年4月30日,习近平总书记在上海加强基础研究座谈会上强调:基础研究是整个科学体系的源头,是所有技术问题的总机关,要以更大力度、更实举措加强基础研究,提升我国原始创新能力,进一步打牢科技强国建设根基(<https://www.news.cn/politics/leaders/20260430/792c3dfab1ce400daa3b20c5652b6161/c.html>)。这段讲话为我国新时代基础研究事业指明了方向。

4.1 科学前沿与国家战略相结合,强化顶层设计

四个重大科学研究计划有别于16个重大专项,明确定位在基础前沿。因此,从项目启动前的方案设计到实施全过程,一直瞄准基础前沿,在强调创新性、前沿性、不可替代性的基础上,要求结合国家战略需求,提出体现中国特色的研究路径,作出具有中国特色的科学贡献。专家组于2008年10月26日在同济大学专门讨论了如何独辟蹊径地提出有中国特色的研究路

径,认为尽快开辟猴和猪模型研究,应该能做出有中国特色突破性工作,从而形成“同济共识”。据此,重点拓展布局猴、猪等模式动物研究,不仅在项目执行期间取得了人类疾病模型建立的“里程碑”式重大突破,也为当今异种器官移植的兴起奠定了基础。在讨论“十二五”重点方向时,专家组组长裴钢院士提议,应将临床医学研究放在重要位置,为我国生殖医学研究成果持续突破、达到国际领先水平 and 杰出人才培养提供保证。搭建科研平台、集聚高端人才、夯实学科发展根基,专家组一致同意首先在北京、上海、广州建立国家干细胞库的三个分库,这不仅推动国家干细胞库最终获批,也奠定了我国干细胞研究在国际上的学术地位。专家组推动了在中国科学院水生生物研究所建立斑马鱼资源中心,协调中国科学院支持基础设施建设和基本运行费,项目则支持研究经费,促使我国斑马鱼模式生物研究走在世界前列,也推动我国成为全球斑马鱼研究体量第一大国。

4.2 坚持民主管理,规范公正实施

始终坚持民主决策、汇聚专家组集体智慧、群策群力共谋发展,营造良好学术生态。为更好“十一五”和“十二五”方向规划,2006年4月项目启动前,召开第274次香山会议,集中研讨,为未来十年研究确定方向。为了与时俱进、更好地做好“十二五”规划,由科学技术部基础研究司组织,2009年4月24~25日在新疆石河子大学召开了发育与生殖研究重大科学研究计划研讨会,汇聚前三年启动的30个项目首席科学家和项目专家组成员,交流各项目进展情况、发现执行中存在的问题,深入讨论并确定了“十二五”期间重点研究方向和任务。在“十三五”战略研究时,召开了第S30次香山会议³⁾,提出三路进兵策略,由周琪、乔杰、孟安明三位领军科学家牵头组织、协同推进,成功竞争到三个重点研发专项,为大领域“十三五”“十四五”期间扩容和持续发展奠定坚实基础。

在规范公正实施方面,坚持公平竞争、公正评价,从年度资助计划的设计、评审到最终确定支持项目,全部由科学家确定。项目指南的酝酿非常充分,专家组成员与全国相关科学家共同研讨、共同谋划,80多个项目顺利落地实施。

3) “发育/生殖基础研究领域若干重大科学问题”第S30次香山科学会议纪要,2016年2月26~27日,北京西郊宾馆

4.3 秉持兼容并包, 深耕交叉创新

融合生殖、发育、干细胞、植物发育多领域, 打破学科壁垒, 赋能跨界协同创新。在整个项目规划时, 不仅没有排他性, 而是看到苗头主动积极支持, 使得“干细胞研究”能在“十二五”启动之初成功创立一个新的重大科学研究计划。“发育与生殖”计划先后在植物发育生物学和植物干细胞方面资助了10个项目, “干细胞研究”计划也在“十二五”期间资助了1个植物干细胞方向的项目, 催生了我国植物发育和植物干细胞研究领域的一批国际领先成果, 奠定了我国在该领域的引领性地位。

4.4 坚持以人为本, 鼓励青年担当

以人才培养为核心, 聚力出高水平成果、培育高层次人才、产出前沿学术思想。项目从一开始就重视青年优秀人才的引进和培养, 专家组成员在各类学术会议上主动出击, 发现人才, 鼓励经验丰富的优秀科学家将青年科学家纳入自己拟申报的项目中, 让他们通过参加国家重大科学研究计划项目, 得到锻炼和成

长。为了鼓励青年科学家担当大任, 还鼓励和支持优秀青年科学家申报大项目, 2006年资助的首批7个项目的首席科学家有3位是40岁及以下的青年人。此后的首席科学家有更加低龄的例证, 郭熙志和孙斐均在32岁时就已经成为大项目首席科学家。更进一步, 从2013起, “发育与生殖”计划专门设立了青年科学家项目, 焦玉铃、常兴、邱菊和周传恩4位青年才俊分别主持了青年科学家项目。这些在30多岁就担纲重大科学研究计划首席科学家的青年人才, 后续的发展进步都很快, 相继在国家科技发展中成长为中流砥柱。

我们坚信, 随着国家重视和支持力度的加大、人才队伍的精进壮大, 中国基础科学研究未来一定会在增强我国自主创新能力、创造中国经验、中国品牌、提升我国科技的国际影响力和竞争力方面发挥更为重要的作用。

由于项目多, 时间跨度长, 时隔久远, 很多信息难以找到甚至被遗忘, 谬误与疏漏在所难免, 不足之处, 敬请见谅。

致谢 “发育与生殖研究”国家重大科学研究计划和“干细胞研究”国家重大科学研究计划部分专家组成员和部分项目参与专家参与了撰写和提供建议, 委托段恩奎研究员(时任发育与生殖计划专家组首届副组长、第二届召集人)整理成文。南京医科大学生殖医学与子代健康全国重点实验室副主任霍然教授等协助检索并汇总2006~2015年生殖与发育计划资助项目的相关支撑数据, 江海燕研究员、李霄先生协助检索《中国基础研究》以及截至2020年(最后一批项目执行期满)中国科学十大进展的项目相关进展信息, 张先恩研究员(时任科学技术部基础研究司司长)提供4个基础领域国家重大科学研究计划早期相关信息。

Research program on development and reproduction: a 20-year retrospective —On the 20th anniversary of the launch of the major scientific research program on development and reproduction

DUAN EnKui*

Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

* Corresponding author, E-mail: duane@ioz.ac.cn

doi: [10.1360/SSV-2026-0132](https://doi.org/10.1360/SSV-2026-0132)