

· 特稿 ·

国家自然科学基金生命科学“十三五”发展的总体思路及依据

薛 岚 谷瑞升* 冯雪莲 杜生明

(国家自然科学基金委员会生命科学部, 北京 100085)

[摘要] 为了科学规划生命科学基础研究未来5年的发展,国家自然科学基金委员会生命科学部组织专家开展了学科发展战略研究。通过全面分析国内外研究态势和发展趋势,战略报告阐释了我国的研究现状和在国际上的地位,梳理出了我国的资助格局和人才队伍特点,剖析了存在的问题、薄弱环节和亟待加强的方面,提出了未来5年的发展思路、发展目标,以及重点加强的领域和保障措施。本文简述了制定发展战略的总体思路及依据,以期帮助人们更好地理解生命科学部“十三五”学科发展战略。

[关键词] 国家自然科学基金;生命科学;“十三五”发展;研究现状;保障措施

“十三五”是我国全面建成小康社会和创新型国家的决胜阶段,是全面深化科技体制改革、实施创新驱动发展战略的关键时期。国家自然科学基金经过30年的快速发展,进入了从量的扩张到质的提升的重要战略机遇期,为此,国家自然科学基金委员会(以下简称基金委)确立了“坚持定位,激励原创,统筹支持,升级发展”的总体思路,提出了逐步实现与科学发达国家的三个并行的发展目标,即总量并行,贡献并行,源头并行^[1]。为了更好地贯彻和落实国家及基金委的“十三五”部署,科学规划未来5年生命科学基础研究的发展,生命科学部组织专家深入调研,开展学科发展战略研究,在全面分析了国内外的研究态势和发展趋势的前提下,阐释了我国生命科学基础研究的现状以及存在的问题,依据国际科学发展趋势和我国研究特点和经济社会发展的需要,确定了未来5年的发展思路和目标,提出了重点发展领域及保障措施,以期推动我国生命科学基础研究更好更快地发展,更好地服务于创新型国家建设。

1 “十三五”我国生命科学发展的背景

生命科学是研究生命现象、揭示生命活动规律

和生命本质的科学,其研究范围涵盖生物学、农业科学和基础医学^[2]。生命科学既是一门基础科学,又与国民经济和社会发展密切相关。它既探究生命起源、演化等重要理论问题,又有助于解决人口健康、食物供给、生态环境等国家重大需求。进入二十一世纪,生命科学更受关注,科研经费大幅度增长,重要科研成果不断涌现。在美国《科学》期刊评选的世界十大科技进展中,生命科学领域的研究成果数已连续多年超半。在我国,生命科学研究得到了高度重视,如在国家“十二五”基础研究发展规划中,生命科学被列入了重点支持领域;在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中,将生物技术列入国家科技发展的五个战略重点之一^[3]。无疑,生命科学将成为二十一世纪自然科学的前沿学科,对整体科学进步和人类社会发展发挥至关重要的作用。

1.1 中国生命科学研究在国际上的地位

近20年来,随着国家科研投入的增加和科研队伍的快速成长,我国生命科学研究得到快速发展,在国际上的学术地位明显提高。中国科学院文献情报中心的统计(WoS数据库)结果显示^[4],在2004~2013年的10年间,中国生物学的SCI论文数量增长迅

速,2013年达到33 112篇,较2004年增长了4.7倍,世界排名由第10位上升至第2位;在论文质量上,2004~2008年与2009~2013年两个5年期相比,论文的国际引文份额由3.2%上升至6.8%,世界排名由第11位上升至第4位,高被引SCI论文数量也由2004年的139篇,上升至1 303篇,10年间增长了8.4倍,高被引论文国际份额也由2.1%上升至6.0%,世界排名由第14位前进至第6位;生物学在中国学科体系中的地位得到明显提升,2004年中国生物学SCI论文占中国SCI论文总量的10.4%,而2013年达到15.3%,10年增加了5个百分点;在近5年评选的年度中国科学十大进展中,生命科学领域的突破持续占据半壁江山,生物科学的快速发展正不断增强着我国的整体科研实力。

近年来,我国科学家完成了多项有创新意义的工作,一些研究成果和能力建设引起了国际生命科学界的广泛关注。例如,我国科学家成功将胚胎成纤维细胞定向转分化为功能性肝细胞,在小鼠上实现小分子药物诱导iPS细胞;解析一系列重要蛋白质或复合物的三维结构并阐述其作用机制,如30纳米染色质结构、剪接体三维结构等;发现Tet双加氧酶调控DNA修饰和DNA甲基化图谱子代继承的规律;阐释了植物株形形成和雌雄识别的分子机制;解析多种野生动物(大熊猫、金丝猴、藏羚羊、野牦牛等)的功能演化和适应性演化机制;克隆并解析了作物产量相关性状(调控作物株型、开花、籽粒形成、抗逆以及杂种优势相关的广亲和基因等)的重要基因;利用染色体工程方法培育出小麦新品种(小偃系列和周麦系列等);培育了多个特色畜禽、水产品种,如南阳牛和巴美肉羊等;揭示了畜禽重要病原感染机制,研制了防治禽流感、口蹄疫等疾病的新型疫苗;生理学和心理学研究的不断深入,为早期识别和干预提供了理论指导;新媒体、大数据分析和脑神经成像、基因分析极大深化了人民对宏观社会心理规律和认知活动物质基础的认识;利用显微光学切片层析成像获取小鼠全脑高分辨率图谱;单细胞测序、基因组编辑、三维基因组分析、原位荧光动态分析以及冷冻电镜等技术获得快速发展;我国相继完成了中国特有生物(大熊猫等)和一大批微生物和重要农作物(水稻、黄瓜等)的基因组测序和分析工作,测序和分析能力步入国际先进行列;建成了“中国西南野生生物种质资源库”,近5年鉴定3 000余个昆虫新种和近3 000个微生物新种;国家遗传工程小鼠资源库的建立,上海光源的建成,国家蛋白质基础设施建设

等等,为我国生命科学研究提供了良好的实验平台。中国已经成为国际上生命科学研究的重要基地。

然而还应该看到,我国生命科学研究水平和质量与美欧等发达国家相比仍有较大差距。2013年中国SCI论文数仅占世界的12.3%,而美国占32.4%。2009~2013年间,主要科技强国如英国、美国、德国等篇均引文指标都超过10,SCI论文引用率均超过85%,而中国的篇均引文指标为6.9,SCI论文引用率为80.5%,中国的得分不仅落后于美欧等科技强国,也低于世界基准线(篇均引文指标和引用率的世界基准线分别为9.8、84%)^[4]。

1.2 我国生命科学的资助格局

在过去的10年中,我国在生命科学领域的经费投入大幅度增加,其中国家重点研发计划和国家科技重大专项(包括原973计划、863计划、国家重大科学研究计划、国家科技支撑计划、科技基础性工作专项、国际科技合作与交流专项、产业技术研究与开发基金和公益性行业科研专项等)和国家自然科学基金是主要资助渠道。2004~2013年期间,国家在生命科学领域布局的重大基础研究计划(973)项目占到了其总数的1/3左右,并且启动了“发育与生殖”、“蛋白质科学”和“干细胞”三个国家重大科学研究计划,以及“重大传染病”、“转基因”和“重大新药创制”三个重大科技专项。国家自然科学基金在生命科学领域资助的项目数、资助经费大幅度增加,基金委生命科学部2006年资助各类项目2 235项,2016年达到5 928项,增长1.7倍,年均增长10.2%,资助经费大幅度提高,由2006年7亿元增长到2016年直接经费29亿元,增长了3.1倍,年均增长率达15.3%。在国家的大力支持下,不少的高校和科研院所都实现了生命科学研究基础平台的改进和完善。

1.3 我国生命科学的人才队伍

我国在生命科学人才引进和培养方面也取得了显著成效。通过基金委的“国家杰出青年科学基金”“优秀青年科学基金”项目、教育部的“长江学者奖励计划”、中国科学院的“百人计划”、以及中央组织部牵头组织的“万人计划”、“千人计划”以及“青年千人计划”等人才项目支持,近年来我国从海外引进了一大批受到过良好科研训练、取得过重要研究成果的优秀中青年生命科学科研人才。与此同时,一大批本土培养的优秀青年科学家也脱颖而出。我国学者在国际生命科学界的地位明显提高,多人担任了国际重要学术期刊的编委和国际学术组织的职位,多

个有较大影响的国际学术会议在中国组织召开。

1.4 我国生命科学研究的差距和不足

我国虽然在生命科学领域取得了突出成绩和长足的进步,但与美、欧、日等科技发达国家相比仍有相当大的差距。主要表现在:

重大原创少,跟踪和模仿研究较多,虽然有高水平论文发表,但对学科发展有引领带动作用的成果较为罕见;科学大师少,高水平人才相对缺乏,前沿研究过分地依靠少数单位的少数科学家,近期回国或在本土上成长起来的青年科学家的潜能和创新能力还需要发挥;在我国,相对于应用性研究,基础性研究尚未得到充分重视,急于求成、急功近利的短视观念导致基础研究队伍萎缩,限制着原创性研究的萌生与发展;支撑发展不足,基础研究投入亟需加强,生命科学部年度项目经费仅占基金委总经费的12%左右,远不能满足生命科学快速发展的迫切需求;学术评价体系、资助机制等软环境还不能很好适应于创新的需要。我国还没有实现从注重论文数量、期刊杂志的影响因子到注重研究本身的创新性和对相关领域科学贡献的转变;基础研究成果转化不畅,产业发展普遍面临基础瓶颈和源头制约,无法满足经济社会发展需求。

2 “十三五”发展思路及目标

2.1 发展思路

“十三五”期间,我国生命科学研究既要面向世界科技前沿又要面向国家重大需求,着力推动一批具有优势和特色的重点和前沿方向进入国际前列,推动关键领域和技术突破,支撑经济社会持续协调发展,关注和加强薄弱方向,实现全面协调发展,大力提倡和鼓励学科交叉与合作,鼓励概念和技术创新,积极参与国际竞争。

在基础生物学研究领域,一方面要优先支持干细胞和表观遗传等具有重大生物学意义的国际前沿研究,大力发展新技术和新方法,支持生物标记、基因编辑和显微成像等技术的革新,以技术突破带动并促进遗传学、发育生物学、细胞生物学、免疫学、神经生物学等领域的发展。另一方面,要以国家需求为目标,开展关系我国可持续发展、生态安全、环境保护资源的利用和开发的基础科学问题研究。重视世界范围内生物资源的收集和保存,关注外来物种入侵、生物多样性保护、生物和生态系统对全球变化

的响应与适应、潜在病原微生物、海洋生物资源等领域,鼓励基于生态系统的网络化长期观测与科学试验平台,开展多尺度、多过程、多层次的重大生态环境问题整合研究^[5]。在农业生物学研究方面,大力开展农业生物基因资源的发掘和利用、农业生物基因组结构与功能分析、农业生物重要性状遗传改良及分子设计育种的技术和理论、植物病虫害和动物疾病的致病机制及防控理论、农业生物高产与资源高效利用的理论基础、农产品产后主要品质变化的发生规律及机理、全球气候变化对农业生产的影响等方面的研究^[6]。在基础医学及交叉科学领域,大力提倡和鼓励概念和理论上的原始创新以及学科交叉和融合,注重健康与疾病的分子、细胞和生理学基础研究,关注认知与人脑连接组学发展,重视脑科学研究,从分子、细胞、神经环路等层面探究认知与情绪形成机制及重大脑疾病发生发展的规律,深入认识分子-细胞的力学-生物学与力学-化学耦合规律,阐明人类健康和重大疾病的生物力学基础,揭示功能性/工程化组织及体内移植干细胞与免疫系统相互作用规律,揭示多功能纳米高分子生物载体的协同作用,获取生物医学图像大数据并基于不同组学开展数据融合,深化对复杂生物系统各单元间定量关系的理解和跨尺度信息的整合^[5]。

2.2 发展目标

(1) 保持我国科学家在优势方向的国际领先地位,力争将部分优势方向发展成为引领国际前沿的重要阵地。

(2) 促进更多研究方向的快速成长,培育更多在国际上占有一席之地的优势方向。

(3) 注重学科均衡发展,大力扶植弱势学科和弱势研究方向的发展。

(4) 进一步壮大生命科学研究队伍,培养高水平研究团队,造就一批在国际生命科学研究领域具有重要影响力的科学家。

(5) 显著提升生命科学领域的论文质量,取得一批系统性的原创成果,继续提高在世界顶级科学期刊发文的数量和国际影响力。

3 实现途径和政策措施

3.1 实现途径

(1) 强化特色和优势方向,形成国际竞争优势。经过多年的积累和发展,我国在某些研究领域已经

形成了自己的特色和优势,如基因组研究,表观遗传修饰,干细胞命运决定,非编码核酸的结构与功能,生物的复杂性状及其演化,农业生物抗生物逆境的机制和免疫学基础,植物激素作用机制,免疫新分子和细胞新亚群的鉴定和功能研究,神经发育和离子通道,生态系统碳氮循环与全球变化等等。“十三五”期间,要不遗余力地给予全方位支持,努力使其成为国际学术前沿并行者乃至领跑者。

(2) **扶持薄弱方向,保障学科均衡发展。**我国生命科学研究还存在一些意义深远、短期未被充分认识且研究方法不同于常规的科学问题,即薄弱研究方向。薄弱研究方向发展需要新方法、技术或理论的突破,以形成新的学科增长点。这些需要加强的薄弱研究方向包括:糖/脂生物学,标准细胞图谱绘制,衰老机制及干预策略,免疫动物模型的建立和免疫拟人化,灵长类脑科学,运动和特殊环境生理学,细菌耐药机制,经典生物分类与古动植物学,原生动物、藻类、苔藓、蕨类等的生物学,动物行为演化与生物学机制,微生物起源与演化,模式微生物生理代谢,真菌遗传学,真菌次级代谢及其环境适应机制等等。

(3) **大力支持学科交叉和方法创新。**学科交叉和融合是当今科学研究发展的趋势和重要推动力,也是我国实现跨越性发展的一个重要手段。通过学科交叉和方法创新可以促进更多研究方向快速成长,培育更多的特色和优势方向。我国现行的项目资助和管理体系存在学科和研究领域划分过细的问题,科研评价中主持人和非主持人、通讯作者和共同通讯作者等区别对待,成为开展交叉和合作研究的障碍。今后应该不断探索和创新项目管理与评价机制,如优化学科资助体系,探索项目双主持人(Co-PI)制等;建立跨学科机制,利用国家自然科学基金重大项目、重大研究计划等资助渠道支持重大交叉研究项目,充分发挥基金委在基础研究及项目管理方式的引领作用。

大力发展新仪器、新技术和新方法。基因操作和基因工程技术直接推动了分子生物学的发展,活体影像学技术实现了细胞生物学可视化动态研究,组学技术的进步推动了整合和系统生物学的发展。随着超分辨率成像、基因组编辑、单分子分析、三维基因组分析、生物信息网络分析等技术日新月异的发展,将会极大地推动生命科学研究的发展。因此

要将发展生命科学研究的新仪器、新技术和新方法置于重要战略地位。

(4) **加强人才培养和人才队伍建设。**与发达国家相比,我国从事生命科学研究的人数偏少,特别是高水平的人才相当缺乏。因此,要进一步积极引进具有国际竞争力的高级人才,为海外知名科学家回国工作创造良好的科研和生活环境。同时,也要大力推进国内创新人才的培养,充分发挥他们的潜能和创新能力,摒弃任何不公平的歧视政策或做法。重视对优秀研究人员的培养和扶持,在公平竞争的前提下,实现对重要研究方向优秀学者和团队的长期稳定和足够强度的支持。

(5) **加强科研平台和支撑体系的建设。**公共资源平台如生物信息数据库、标本馆系统、种质资源库、突变体库和代表性物种功能分析平台等是生命科学研究发展的基石。长期以来,我国没有足够重视对生物公共资源平台的建设,缺少遗传资源的系统研究和收集,没有足够重视建立良性的合作与分享机制和文化,导致资源管理上严重碎片化,学科发展上积累性不足,无法充分发挥我国生物资源在研究和开发应用上的优势。目前,主流组学数据库均由欧美几个发达国家的大型研究中心垄断,大规模组学数据的不断产出,数据发布、共享已经成为一个越来越重要的问题。因此,“十三五”期间,应当更加重视公共资源平台的建设,增设平台专项,进行长期和稳定支持;支持建设大型、综合型生物数据库并建立相应的标准数据格式;将科研资源和科学数据进行系统化和规范化的重组、促进科研资源的高效配置和综合利用、拓宽共享范围。

3.2 “十三五”我国生命科学基础研究发展的政策措施建议

(1) 进一步加大对生命科学基础研究的经费投入

近年来国家不断加大对基础研究的投入,2006年,我国基础研究投入 155.76 亿元,2013 年达到 555 亿元,年均增长约 20%^[1]。而国家自然科学基金从 2007 年的 49.7 亿,发展到 2016 年 240 亿元,增长了 3.8 倍。然而,我国对基础研究的投入仍然偏低,国家财政对基础研究的投入仅占 R&D 的 5%左右,而科技发达国家为 15%到 20%之间。与欧美等发达国家相比,生物学在我国的学科地位偏低,需要进行扶植和支持。

在国家自然科学基金资助体系中,生命科学部的资助经费仅占基金委总经费约12%。生命科学部的人才类项目如杰出青年项目和优秀青年项目的资助率不到10%,重点项目存在高质量的项目多而资助数少的突出矛盾,一些项目如面上项目等经费偏低,直接经费年均仅为15万左右。因此,加大经费投入是推动我国生命科学研究快速发展不可或缺的条件。

(2) 完善科研评价体系,营造潜心专研的科研氛围

科研评价一定程度上决定了科研的价值取向,是极重要的指挥棒和风向标。目前我们科研评价基本上看论文、课题和奖励,而且论文的数量和影响因子在评价中占了很大的权重。这一评价方法催生和鼓励了模仿和跟班式研究,出现了心态浮躁、急功近利、盲目追求论文影响因子、重项目申报而轻实验探究、重成果包装而轻研究工作等利益化的不良现象。科学研究是一项发现和发明的创新活动,科研评价也应当回归到其本质上来,要看其对科学和产业发展的实质性贡献。科研评价要靠同行专家和良好的学术氛围,提高科学家鉴赏力,减少行政干预。要依据科研活动类型、群体以及平台等的不同建立导向明确、分类合理、客观公正、激励约束并重、与国际评价标准衔接的分类评价标准和开放多元的评价方法,营造潜心治学、追求真理的创新文化氛围。

(3) 探索建立适合不同研究特点的项目管理和资助体系

生命科学基础研究领域广泛,应该探索与建立适合不同研究领域特点的项目管理和资助体系^[7]:

对于微观层面的前沿研究即是在个体水平以下,从分子、细胞和组织水平上认识生命现象和揭示研究生命活动规律,这类研究多采用模式材料或模式体系,在实验室和人为控制环境下开展,研究特点是周期短、探索性强、发展快,国际竞争激烈。实践证明,目前国家自然科学基金的资助模式、项目周期和管理体系与这类研究是基本相适应的。今后,在这一领域要更加突出自由探索,强调原始创新,注重对新概念、新假说、新技术和方法的支持。

对于宏观层面的研究,即在个体水平以上研究生命现象和生命活动的规律,包括生态学、植物学和动物学等的部分领域,这类研究通常在田间或自然条件下,受环境条件影响较大,研究周期较长,有一

定的探索性,需要多学科多层次的整合研究。在资助模式和评审机制上要充分考虑其时间、对象和地域特点,鼓励科学家基于生态定位站或野外实验台站围绕重要科学问题进行数据积累和长期研究。项目的评价在注重创新性的同时,更要注重其所揭示的科学问题重要性,大力提倡合作和联合研究。

对于国民经济发展需求驱动的、以解决问题为最终目标的基础研究,这类研究有具体目标和很强的时效性,如基础医学、农业科学以及生物技术等,这类项目要发挥申请指南的作用,加强宏观引导,鼓励科学家围绕国民经济发展中的重要科学问题开展基础研究。

对于以知识和数据积累为特点的基础研究,包括传统研究领域中的一些重要方面,如生物资源评价、经典分类、模式生物重要生命过程的生理学研究、微生物人工培养和动物人工饲养等等。此类不应该过分强调其创新性,重点要考察工作基础以及研究问题的重要性,建立连续和稳定的资助机制,稳定研究队伍。

目前我国生命科学研究的瓶颈问题之一就是研究手段和技术发展滞后。因此,未来生命科学要将手段、技术和方法的创新纳入重要的资助领域,予以优先发展,大力提倡学科交叉,鼓励发展与理工学科相结合,大力发展新技术和新方法,发展新模式生物和模型系统。

致谢 文中一些材料和数据来自国家自然科学基金委员会生命科学部“十三五”学科发展战略研究结果,在此致谢。

参 考 文 献

- [1] 杨卫. 贯彻发展理念突出战略导向不断提升创新驱动发展源头供给能力. 中国科学基金, 2016, 30(3):193—196.
- [2] 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金项目指南. 北京:科学出版社, 2016, 15—33.
- [3] 中华人民共和国国务院.《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》. <http://www.most.gov.cn/kjgh/>
- [4] 国家科技评估中心,中国科学院文献情报中心. 生物学十年:中国与世界(研究报告), 2016: 13—22.
- [5] 国家自然科学基金委员会,中国科学院. 未来中国学科发展战略生物学. 北京:科学出版社, 2012.
- [6] 国家自然科学基金委员会,中国科学院. 未来中国学科发展战略农业科学. 科学出版社, 2012.
- [7] 杜生明,谷瑞升,冯峰,冯雪莲. 生命科学部资助与管理模式的探讨. 中国科学基金, 2007, 21(3):179—183.

Overall mentality and background on the life science development of the National Natural Science Foundation in “13th Five-Year”

Xue Lan Gu Ruisheng Feng Xuelian Du Shengming
(Department of Life Sciences, NSFC, Beijing 100085)

Abstract In order to further improve the development of the basic research of life science in the next 5 years, the Department of Life Sciences, the National Natural Science Foundation of China, organized experts to carry out a research on the development strategy of disciplines. Based on a comprehensive analysis of domestic and foreign research and the development trend of life sciences, the research status, funding structure and talents characteristics were given out in the research of life sciences in China, the existing problems, weakness and strengthening aspects were presented, and the development objectives and road-map were proposed in the next 5 years. This paper describes the general idea and basis for the formulation of development strategy in order to help people better understand the “13th Five-Year” discipline development strategy in the Department of Life Sciences.

Key words the national natural science funding; life science; “13th Five-Year” development; research status; implement measures

· 资料信息 ·

我国学者在激光电子加速研究领域取得突破性进展

在国家自然科学基金国家重大科研仪器研制项目(项目批准号:11127901)的支持下,中国科学院上海光学精密机械研究所(以下简称中科院上海光机所)在超强超短激光驱动尾波场加速产生高亮度高品质电子束研究中取得突破性进展。相关研究成果论文“High-Brightness High-Energy Electron Beams from a Laser Wakefield Accelerator via Energy Chirp Control(通过能量啁啾控制的激光尾波场器加速获得高亮度高能电子束)”被优选(Editors' Suggestion)为亮点论文(Highlighted Articles),于9月16日在 *Physics Review Letters* 发表(论文链接:<http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.117.124801>)。

发展小型化、低成本激光粒子加速器是科学家们一直梦寐以求的目标。超强超短激光驱动的尾波场电子加速器具有比传统射频加速器高出3个量级以上的超高加速梯度,为实现小型化的高能粒子加速器等提供了全新技术途径,对未来的同步辐射装置、自由电子激光以及高能物理研究等也将带来深远的影响。近十年来,激光尾波场电子加速研究已经取得许多重要进展,但是在产生高品质电子束方面还面临诸多难题和挑战,例如能散度压缩与稳定性提高等,使其在应用方面的研究受到限制。

近年来,中科院上海光机所强场激光物理国家重点实验室研究团队在激光尾波场电子加速方向开展了独具特色的研究,在国际上首次成功实现级联双尾波场准单能高能电子加速方案,实验获得了GeV级准单能电子束等重要研究成果。近期,该研究团队提出了级联尾波场加速新方案,通过在两段级联的等离子体之间引入一段高密度等离子体,控制电子束的稳相加速及能量啁啾反转和能散度压缩,克服了单级尾波场加速方案中能散度无法独立控制的技术瓶颈,突破了激光尾波场加速中能散度难以压缩等重大技术瓶颈。实验获得了高亮度高品质(200—600 MeV、能散0.4—1.2%、流强1—8 kA、发散角~0.2 rms mrad)的高能电子束,电子束六维相空间亮度达到 10^{15-16} A/m²/0.1%,远高于目前国际上报道的同类研究结果,其亮度首次接近了最先进的直线加速器上所能获得的电子束亮度。研究人员利用该电子束与超强超短激光对撞产生了超高亮度准单色MeV量级伽马射线源,其最高峰值亮度达 3×10^{22} photons s⁻¹ mm⁻² mrad⁻² 0.1% BW,比国际上报道的同类伽马射线源亮度高出一个量级以上,比传统伽马射线源同能区的峰值亮度提高了10万倍。

该级联尾波场加速新方案成功产生了高亮度高品质高能电子束,这将会显著促进基于激光尾波场电子加速器的小型化自由电子激光等重要领域的研究进程。

(供稿:数理科学部 倪培根 张守著)