



生命科学前沿及应用生物技术

会聚观：推动跨学科融合

—— 生命科学与物质科学和工程学等学科的跨界

(美) 美国科学院研究理事会 编
王小理 熊 燕 于建荣 译
吴家睿 校

**Convergence: Facilitating Transdisciplinary
Integration of Life Sciences, Physical Sciences
Engineering, and Beyond**



科学出版社

(Q-3490.31)

Q-31
ZM111



科学出版中心 生物分社
联系电话: 010-64012501
E-mail: lifescience@mail.sciencep.com
网 址: <http://www.lifescience.com.cn>
销售分类建议: 生物/生物技术



赛拉艾美
生命科学订阅号

生命因你而精彩!

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-047487-2



9 787030 474872 >

定价(全套): 8900.00元

生命科学前沿及应用生物技术大系·典藏版

会聚观：推动跨学科融合

生命科学与物质科学和工程学等学科的跨界

**Convergence: Facilitating Transdisciplinary
Integration of Life Sciences, Physical Sciences,
Engineering, and Beyond**

“健康与会聚面临的关键挑战”咨询委员会

生命科学分部

地球与生物学部

(美)美国科学院研究理事会 编

王小理 熊 燕 于建荣 译

吴家睿 校

科 学 出 版 社

北 京

图字：01-2015-1195 号

内 容 简 介

应用生物技术大系和现代生命科学前沿系列图书分别被列为“十一五”和“十二五”国家重点图书出版规划项目。本丛书针对生命科学领域前沿重点发展方向以及应用生物技术领域的新成果、新思路、新方法和新技术，全面展示了其最新的发展动态，涵盖了基础理论和主要技术方法，呈现了新的概念与理论、技术，在更深层次上阐明了生命的本质规律，给人们提供了新的认识生命本质的手段，也为生物技术服务于人类开辟了新的途径。涉及领域包括生物医药、干细胞技术、工业微生物学、蛋白质及蛋白质组、系统生物学、合成生物学、生物材料、农业生物技术、环境生物技术、海洋生物技术、生物资源与安全等。

This is the translation of *Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond* by Committee on Key Challenge Areas for Convergence and Health, Board on Life Sciences, Division on Earth and Life Studies, National Research Council.

© 2014. First Published in English by National Academies Press. All rights reserved. This edition published under agreement with the National Academy of Sciences.

图书在版编目 (CIP) 数据

生命科学前沿及应用生物技术大系：典藏版/舒红兵等编著. —北京：科学出版社，2016

ISBN 978-7-03-047487-2

I. ①现… II. ①舒… III. ①生命科学—研究②生物工程—研究 IV. ①Q1-0②Q819

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 043876 号

责任编辑：王 静 李 悦

责任印制：张 伟 / 封面设计：刘新新

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 7 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2016 年 7 月第一次印刷 印张：2108

字数：49 985 000

定价：8900.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

《新生物学丛书》专家委员会

主 任：蒲慕明

副 主 任：吴家睿

专家委员会成员(按姓氏汉语拼音排序)

昌增益	陈洛南	陈晔光	邓兴旺	高 福
韩忠朝	贺福初	黄大昉	蒋华良	金 力
康 乐	李家洋	林其谁	马克平	孟安明
裴 钢	饶 毅	饶子和	施一公	舒红兵
王 琛	王梅祥	王小宁	吴仲义	徐安龙
许智宏	薛红卫	詹启敏	张先恩	赵国屏
赵立平	钟 扬	周 琪	周忠和	朱 祯

“健康与会聚面临的关键挑战”咨询委员会成员

Joseph DeSimone(主席), 北卡罗来纳大学教堂山分校, 北卡罗来纳州立大学

Timothy Galitski, 系统生物研究所, 默克密理博公司

James M. Gentile, 霍普学院

Sharon Glotzer, 密歇根大学

Susan J. Hockfield, 麻省理工学院

Julie Thompson Klein, 韦恩州立大学

Cato T. Laurencin, 康涅狄格大学健康中心

Cherry A.Murray, 哈佛大学

Monica Olvera de la Cruz, 西北大学

Nicholas A. Peppas, 得克萨斯大学

Lynne J. Regan, 耶鲁大学

J. David Roessner, SRI 国际公司

参与人员

Katherine Bowman, 项目负责人, 高级项目官员

Carl G. Anderson, 项目助理

Laurence Yeung, 科学与技术政策 Mirzayan 学者

Joseph Alper, 科普作家

生命科学分部成员

James P. Collins (主席), 亚利桑那州立大学
Enriqueta C. Bond, 宝来惠康基金会
Roger D. Cone, 范德比尔特大学医学中心
Sean Eddy, 霍华德休斯医学研究所珍利亚研究园区
Sarah C.R. Elgin, 华盛顿大学
David R. Franz, 前美国陆军传染病医学研究所指挥官, 顾问
Louis J. Gross, 田纳西大学
Elizabeth Heitman, 范德比尔特大学医学中心
John G. Hildebrand, 亚利桑那大学
Richard A Johnson, 阿诺-波特律师事务所
Judith Kimble, 威斯康星大学
Cato T. Laurencin, 康涅狄格大学
Alan I. Leshner, 美国科学促进会
Karen E. Nelson, 克雷格·文特尔研究所
Robert M. Nerem, 佐治亚理工学院
Camille Parmesan, 得克萨斯大学
Alison G. Power, 康奈尔大学
Margaret Riley, 马萨诸塞大学
Janis C. Weeks, 俄勒冈大学
Mary Woolley, “研究! 美国组织”

职 员

Frances Sharples, 主任
Jo L. Husbands, 学者/高级项目主任
Jay B. Labov, 资深科学家/生物学教育项目主任
Katherine W. Bowman, 高级项目职员
India Hook-Barnard, 高级项目职员
Marilee K. Shelton Davenport, 高级项目职员

Keegan Sawyer, 项目职员

Bethelhem M. Banjaw, 财务助理

Angela Kolesnikova, 行政助理

Jenna Ogilvie, 高级项目助理

Lauren Soni, 高级项目助理

丛 书 序

当前，一场新的生物学革命正在展开。为此，美国国家科学院研究理事会于2009年发布了一份战略研究报告，提出一个“新生物学”(New Biology)时代即将来临。这个“新生物学”，一方面是生物学内部各种分支学科的重组与融合，另一方面是化学、物理、信息科学、材料科学等众多非生命学科与生物学的紧密交叉与整合。

在这样一个全球生命科学发展变革的时代，我国的生命科学研究也正在高速发展，并进入了一个充满机遇和挑战的黄金期。在这个时期，将会产生许多具有影响力、推动力的科研成果。因此，有必要通过系统性集成和出版相关主题的国内外优秀图书，为后人留下一笔宝贵的“新生物学”时代精神财富。

科学出版社联合国内一批有志于推进生命科学发展的专家与学者，联合打造了一个21世纪中国生命科学的传播平台——《新生物学丛书》。希望通过这套丛书的出版，记录生命科学的进步，传递对生物技术发展的梦想。

《新生物学丛书》下设三个子系列：科学风向标，着重收集科学发展战略和态势分析报告，为科学管理者和科研人员展示科学的最新动向；科学百家园，重点收录国内外专家与学者的科研专著，为专业工作者提供新思想和新方法；科学新视窗，主要发表高级科普著作，为不同领域的研究人员和科学爱好者普及生命科学的前沿知识。

如果说科学出版社是一个“支点”，这套丛书就像一根“杠杆”，那么读者就能够借助这根“杠杆”成为撬动“地球”的人。编委会相信，不同类型的读者都能够从这套丛书中得到新的知识信息，获得思考与启迪。

《新生物学丛书》专家委员会

主任：蒲慕明

副主任：吴家睿

2012年3月

原书前言

会聚是融合不同学科的理论和研究方法的过程。会聚所带来的科学机遇，将推动我们通过创造性方案解决社会所面临的最困难问题，并作出重大贡献。会聚为我们提供了超越通常范式进行思考的动力，使我们能综合各方信息、多角度地来解决相关问题。就我个人经验而言，只有营造一个能推动信息沟通交流、尊重所有成员参与的环境，我们才能充分利用各种知识和技能，以及不同经验，从而增加创新和成功解决问题的可能性。重要的是，我相信，这样做不仅能促进生命科学和医学、物质科学、计算科学和工程学之间的学科合作，还能推动与经济、社会、行为科学、艺术和人文学科以及其他学科之间的合作，从而令人难以置信地扩大创新活动的范围和深度。

虽然那些参与会聚科学的科学家们为这类可能性感到振奋，但是他们也知道，要创建和维持一个促进学科会聚的环境有多难。本项研究旨在进一步了解我们所面临的挑战，总结目前会聚项目的案例，为有意愿做出或者扩大这方面科研努力的研究人员和研究机构提供相关信息。除了这个目标之外，会聚科学所体现的方法为思考如何构建科技事业和合作伙伴网络，并让两者共同形成一个能推动科学研究转化应用的科技生态体系提供框架。会聚观不仅为我们提供了探讨推动科学进步策略的机会，还把这些讨论上升到解决研究型大学、资助体系、科技政策和合作伙伴关系中所面临的关键性挑战的高度。

那些积极奉献他们的创造力和知识的委员会成员将我引进该项目，同时我也从各领域专家的专业见解中受益颇多。对我而言，与他们每个人的合作都很愉快。美国科学院、美国工程院和美国医学科学院这三个学术机构的主席都支持研究理事会(NRC)对这一问题开展研究。同样，“健康与会聚面临的关键挑战”咨询委员会召开的各种情况意见收集会议，也得到了从研究生到院系主任、政府机构、基金会和产业界领导等的广泛支持。他们的意见对本咨询委员会观点的形成至关重要。我非常感谢他们的积极参与。最后，我想代表咨询委员会感谢研究理事会员工的贡献，特别是项目负责人 Katherine Bowman，她和我一起工作，完成了这份报告。他们在整个过程中提供的观点、指导及支持的价值难于估量。

将不同学科在快速发展中提出的想法汇集，更有可能让科学更好地造福社会。“健康与会聚面临的关键挑战”咨询委员会希望，这份报告能引起更多读者和相关人员对学科会聚的关注和相关意识的提升，为更有效地利用会聚力量作出贡献。

——Joseph DeSimone

“健康与会聚面临的关键挑战”咨询委员会主席

致 谢

本咨询报告的初稿已通过具有不同视角和技术专长的专家的独立评审，这些专家是按照美国科学院报告审查委员会批准的程序选定的。独立评审的目的是为了得到公正且重要的评议，以帮助美国科学院最后发布的报告尽可能合理可靠，确保咨询报告能够达到院有关客观性、证据充分性、对研究目标响应性的评判标准。为确保整个评审过程的公正性，评审意见和报告初稿均保密。

我们感谢下列人员对报告的评审：

Ann M. Arvin, 斯坦福大学

Michael M. Crow, 亚利桑那州立大学

Jerry A. Jacobs, 宾夕法尼亚大学

Philip M. Neches, Teradata 公司

Jack C. Schultz, 密苏里大学

Esther S. Takeuchi, 石溪大学

尽管上述评审人员提供了许多建设性的意见和建议，但并未要求他们赞同这份报告的最终结论或建议，他们甚至也没看到报告正式发布之前的最终稿。本报告的评审工作由 William H. Press (得克萨斯大学)、Robert H. Austin (普林斯顿大学) 负责监督。二位专家受美国科学院的任命，负责确保本报告的独立评审是依据既定的程序进行，并保证所有的评审意见都得到了认真考虑。编写委员会和编写机构对本咨询报告的最终内容负责。

“健康与会聚面临的关键挑战”咨询委员会还感谢所有参加 2013 年 9 月 16 日至 17 日“实施会聚的关键挑战”研讨会的人员(附录 B)。

目 录

从书序

原书前言

致谢

摘要	1
1 导论	11
1.1 一场科学和技术的革命正在发生	11
1.2 会聚研究是交叉学科研究的一种扩展形式	13
1.3 会聚观推动科学进步	14
1.3.1 研究生态系统涉及众多的学科和参与者	14
1.3.2 会聚观能加速发现和创新	15
1.3.3 会聚观涉及科学与社会的关系	16
1.3.4 承前启后推动会聚研究	17
1.4 研究机构需要能够高效促进会聚研究的指导	17
1.5 报告框架	19
2 会聚型科学示例	20
2.1 用于改善疾病治疗的知识网络	20
2.2 三维打印技术将带来新的医疗保健选择	21
2.3 联邦机构实施的会聚项目：ARPA-E	23
2.4 产业界中发生的会聚：生物技术	24
2.5 会聚观加速生物经济的发展	25
3 从研究领域更广泛的视角来看会聚观	28
3.1 专业术语和概念	28
3.2 影响整合和协作研究成功的众多因素	29
3.3 改进 STEM 教育以推动会聚观	35
3.4 会聚策略将有助于促进生命科学的定量化和重现性	37
3.5 会聚科学超出了生命科学、物质科学、医学和工程学的整合	38
4 将会聚观融入组织机构：挑战与策略	40
4.1 专业知识的深度和广度加速会聚	41

4.2	多样化的视角有利于创新	43
4.3	会聚科学需要一种文化和支持机制	43
4.3.1	策略：围绕一个共同的主题、问题和科学挑战进行组织	44
4.3.2	策略：面向研究机构开展会聚研究面临的挑战，配置相应的管理架构	45
4.3.3	策略：提供各种正式和非正式互动的机会	46
4.4	会聚研究与师资队伍结构和奖励制度相互联系	46
4.4.1	策略：彻底的组织架构重组	47
4.4.2	策略：跨部门工作	48
4.4.3	策略：在晋升和任期过程中对跨学科研究的支持政策	50
4.5	设计用于会聚研究的设施环境和工作区域	52
4.5.1	策略：处于与校园其他部分相连接的中央位置	54
4.5.2	策略：安排使研究人员相互作用最大化的实验室和公共空间	54
4.6	发展新的教育和培训项目来促进会聚	55
4.7	会聚研究依赖于有效的伙伴关系	58
4.8	持续的资助是会聚型工作所必需的	59
4.9	会聚生态系统包括多种核心组分	62
5	通过会聚研究来拓展知识并解决复杂问题：结论和建议	64
5.1	结论和建议	64
5.2	需要国家层面的协调	69
	参考文献	73
	附录 A “健康与会聚面临的关键挑战” 咨询委员会成员简介	81
	附录 B 实施会聚的关键挑战研讨会：议程与参与者	87
	参会者名单	91
	框	
	框 S-1 微生物组工程治疗疾病：一项需要专业知识和相互合作的挑战	1
	框 S-2 任务声明	3
	框 1-1 任务声明	18
	框 2-1 会聚案例：Illumina 有限公司	24
	框 3-1 定义	28
	框 4-1 晋升和终身教职认定政策	50
	框 4-2 电影产业：鼓励会聚观的模式？	52
	框 4-3 用于会聚研究项目的种子基金资助	60
	框 4-4 获得赛克勒基金会支持的会聚研究中心	61

图	
图 1-1	建立在前期分子生物学和基因组学革命的基础上, 生命科学、物质科学、医学及工程学不断地整合代表了生命科学领域的第三次革命..... 12
图 1-2	代表会聚整合过程的两种表现形式..... 14
图 1-3	在“会聚-解聚”过程中研究模式扮演的角色..... 16
图 2-1	构建用于基础研究和药物发现的生物医学知识网络..... 21
图 2-2	器官和组织的 3D 打印的概念模型..... 22
图 2-3	定量生物科学研究所(QB3)的会聚创新生态系统涉及政府与大学和产业合作伙伴之间的动态互动..... 26
图 2-4	多家高新技术企业集群分布在麻省理工学院附近, 成为由会聚活动所创造和维持的生态系统的一部分..... 27
图 4-1	“T 字形”和“梳形”人员将拓展专家的知识深度与广度并实现跨领域工作..... 42
图 4-2	Bio-X 中心提供的教职员工互动联系网络..... 49
图 4-3	路径重叠对研究合作的影响..... 54
表	
表 S-1	美国境内已经成立的会聚研究机构实例..... 3
表 S-2	推进会聚观面临的共同挑战的观点比较..... 4
表 S-3	关于利用稳定的预算推进会聚研究的相关思路..... 6
表 S-4	建议的汇总表..... 8
表 3-1	影响跨学科研究有效协作的因素..... 31
表 4-1	推进会聚研究面临的共同挑战的观点比较..... 40
表 4-2	关于利用稳定的预算推进会聚研究的相关思路..... 63
英文原文 97	

摘 要

会聚是一种通过跨越不同学科来解决问题的方法；这个方法融合了生命科学与健康科学、物质科学^①、数学，以及计算机科学、工程科学等众多专业领域的相关知识、工具和思维方式，构建一个全面综合的框架，用以应对多领域交叉的科学与社会挑战。通过整合不同专业领域的知识，形成合作伙伴网络，会聚策略将激励基础科学发现不断向实际应用转化。会聚观也为实现学术界、国家实验室、产业界、临床机构及资助机构等利益相关者的广泛合作提供了肥沃的土壤。因此，本咨询报告中提及的会聚概念，包括了两个既密切联系又截然不同的特征：一方面是指需要解决一系列科研问题的相关专业知识的会聚；而另一方面则指形成合作伙伴关系网络，这个合作网络提供对相关科学研究的支持并能够使研究成果不断转化为新的创新形式和全新产品。

会聚过程中创造出来的全新认知将有助于满足以下方面的需求：

了解神经系统等各种生物复杂系统，并将这些知识用于设计新型治疗方法；

通过知识管理和精确医学的整合改善对病患的治疗效果；

通过现场打印、3D 打印技术革新不断促进制造业创新；

探索新型燃料与改良储能系统；

在不断变化的气候条件下满足全球食品安全供应需求。

会聚观所展现出的独特的研究方法，并非推动知识进步或开展学科性研究与跨学科研究的唯一方法。通过其他模式开展的相关研究，或是在离开生命与健康科学、物质科学和工程学的交叉领域的相关研究，也同样能够为科技事业作出重大贡献。事实上，这种类型的相关研究能够与会聚研究整合形成更为丰富的知识。框 S-1 中以案例形式列出了能够受益于会聚方法的这类研究挑战。

框 S-1 微生物组工程治疗疾病：一项需要专业知识和相互合作的挑战

人类微生物组是指生活在人体上的巨大微生物群体，其中包括皮肤和肠道上的微生物。为了识别并将这些微生物与人类的健康和疾病状态关联起来，科技界已经做出了巨大的努力，例如，由美国国立卫生研究院(NIH)支持的人类微生物组计划(Human Microbiome Project)。通过了解微生物组与微生物群落之间的相互作用，将有可能开发出通过改变关键的微生物组成进行疾病治疗的全新疗法。例如，研究人员最近研制出一种肠共生细菌，它能够产生一种信号传导分子，诱导霍乱弧菌(*Vibrio cholerae*)降低其霍乱毒素等致病因子的

^① 整篇报告中，缩略语“物质科学”代表以下领域：物理学、化学、材料科学、数学和计算科学。

表达。如果小鼠在感染霍乱弧菌前摄入这种特定的工程菌，这些小鼠能够降低与毒素的结合，使存活率增加。

将特定疾病与某种特定的微生物或微生物组合相关联，进而研发出一种或多种关键微生物的优化组合，并将这些发现应用于疾病治疗，是一项漫长而复杂的挑战性工作。而完成这项工作，需要来自多个领域的专业知识与众多合作伙伴的会聚。为了更好地实现上述目标，将有可能需要：

- 通过 DNA 测序技术，获得体内微生物组的相关遗传信息；
- 通过生物学实验与化学实验，进一步分析检测到的微生物；
- 通过数学与计算工具，分析实验产生的相关数据，进行序列比对，并识别与目标疾病相关的潜在基因；
- 通过公共卫生研究，更好地了解微生物在特定疾病状态下如何发挥作用；
- 通过工程学与合成生物学的相关专业知识，设计改造基因表达的微生物；
- 通过材料科学的知识，将改造过的微生物封装到递送系统中，例如可摄取的药丸；
- 通过临床试验与监管机构的合作，批准可用于人的新型药品；
- 通过产业合作伙伴，不断扩大生产与制造规模；
- 通过社会和行为干预，以受益人群为目标，开展特定的新型治疗。

许多科研机构对于如何促进相关的会聚研究很有兴趣。尽管表 S-1 中列出的会聚研究模式已经存在，然而，由于文化与制度的障碍，导致能够自行运转的会聚生态系统的发展速度缓慢。在如何制定出有效的会聚计划项目，会聚计划项目可能会遇到何种挑战，以及其他组织通过何种策略以便更好地解决所面临的问题等方面，许多机构往往缺乏有效的指导。本报告旨在积极地消除这一认知差距，分析某些组织支持会聚研究所采用的相关机制和研究项目，并为科学界提供有根据的指导建议(框 S-2)。2013 年 9 月举行的带有信息收集性质的研讨会，为对会聚研究感兴趣的科研人员提供了一个极其宝贵的机会来共同探讨若干关键问题：会聚观究竟能够带来什么？在其培养会聚能力的过程中，将遭遇何种典型的挑战？可以用来支持和促进会聚研究的机制有哪些？另外，此次研讨会与本报告的撰写得到众多资助机构的支持^①，这反映出公众对于讨论和理解有效实施会聚研究将要面临的各种挑战表现出浓厚的兴趣。

^① 该项目得到了各方资助：美国科学院赛克勒科学基金会(Raymond and Beverly Sackler Science Fund)、宝来惠康基金会(Burroughs Wellcome Fund)、卡弗里(Kavli)基金会、科学进步研究资助组织(Research Corporation for Science Advancement)、美国国家科学基金会(项目号 PHY-1353249)、美国国立卫生研究院(项目号 HHSN263201200074/HHSN26300047、项目号 TO#47)、北卡罗来纳州立大学威廉·科南(William R. Kenan, Jr.)工程技术与科学研究所、北卡罗来纳大学教堂山分校弗兰克·霍金斯凯南(Frank Hawkins Kenan)私人企业研究所、以及康涅狄格大学康涅狄格临床与转化科学研究所。