

中国空间生命科学的关键科学问题和发展方向



商澎^{①*}, 呼延霆^①, 杨周岐^①, 武祥龙^①, 赵玉芬^②,
赵国屏^③, 顾逸东^④

① 西北工业大学生命学院空间生物实验模拟技术国防重点学科实验室, 西安 710072;

② 厦门大学化学化工学院, 厦门 361005;

③ 中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所, 上海 200032;

④ 中国科学院空间应用工程与技术中心, 北京 100190

* E-mail: shangpeng@nwpu.edu.cn

收稿日期: 2015-03-20; 接受日期: 2015-05-28

国家重点基础研究发展计划(编号: 2011CB710903)和中国科学院技术科学部学科发展战略研究课题(我国空间科学发展战略研究)资助项目

摘要 空间生命科学是随着人类空间探索活动,特别是载人空间探索而产生和发展的新兴交叉学科,它涵盖了较为广泛的研究范围.在过去半个多世纪,国际上在该领域取得了许多重要发现和研究成果,不仅支撑了载人空间探索任务,同时也服务了地球人类的生活.随着我国载人航天和深空探索活动的不断发展,特别是我国载人空间站工程的启动,未来20年将是我国空间生命科学发展的黄金时期.基于我国的载人空间站和返回式科学卫星实验平台,开展空间生命科学研究,获取新知识、创新新技术,进一步服务于人类空间探索活动、服务国家经济和社会发展,这就需要我们学科发展的战略高度,系统深入地进行研究思考.在全面回顾国内外空间生命科学的发展历史及现状的基础上,本文对我国空间生命科学的战略需求、发展方向和关键科学问题等进行了梳理、分析和展望,以期为我国空间生命科学的发展提供思路和借鉴.

关键词

空间生命科学
战略需求
发展方向
关键科学问题

1 引言

现代宇航之父—俄国科学家齐奥尔科夫斯基曾预言:“地球是人类的摇篮,但是人类不能永远生活在摇篮里,开始他将小心翼翼地穿出大气层,然后便去征服太阳系”.人类探索空间实践,自从1957年第一颗人造卫星发射开始,人类进入空间时代,迄今已发射700多颗科学卫星、深空探测器并建立了多个空

间实验室和空间站^[1,2].在空间技术不断发展的支持下,人类在空间科学领域的革命性发现层出不穷,空间科学体系也在逐步建立和发展,空间科学相关的创新性知识已深刻地改变了人类的宇宙观和自然观,影响地面人类生活方式.空间生命科学的主要意义包括:1)丰富和深化生命科学知识体系;2)支撑人类空间探索活动的可持续发展;3)促进人类的经济和社会发展;4)培育人才,提升全民科学素质.

引用格式: 商澎,呼延霆,杨周岐,等.中国空间生命科学的关键科学问题和发展方向.中国科学:技术科学,2015,45:796-808
Shang P, Hu Yan T, Yang Z Q, et al. Tendency and critical scientific issues of space life science in China (in Chinese). Sci Sin Tech, 2015, 45: 796-808, doi: 10.1360/N092015-00093

空间生命科学随着 1961 年人类首次进行空间载人探索而形成, 是空间科学的一个重要分支, 属于空间科学与生命科学的交叉学科, 同时也是生命科学在空间特殊环境下的拓展和延伸^[3-6]. 几十年来, 国际上各空间大国和国际组织在国家空间战略中均分阶段地明确提出了空间科学的指导性规划, 并在广泛动员科技界深入研究的基础上, 不断制定和修订了空间科学各领域的一系列具体计划. 尤其是在近十年来, 各空间大国和组织均将“空间生命科学”定为十大重点发展的学科之一. 虽然我国目前已经成为第三航天大国, 但是在空间科学领域仍然不是强国! 我国空间生命科学研究的起步并不算晚, 然而研究规模和研究成果, 与美、俄、欧、日等相比还存在较大的差距^[1]. 随着我国载人航天和空间探索活动的不断发展与深入, 特别是 2010 年我国载人空间站工程的正式启动实施^[7], 未来 20 年将是我国空间生命科学发展的黄金时期. 我国未来想要基于载人空间站和返回式科学卫星等空间实验平台, 持续深入开展空间生命科学研究, 获取创新知识和技术, 进一步服务于人类空间探索活动、国家经济和社会发展, 这就需要我国从事空间生命科学研究的相关人员进行深入系统的战略思考和综合分析, 制定适合我国国情和符合国际空间生命科学发展方向战略规划. 本文在全面回顾国内外空间生命科学的发展历史及趋势的基础上, 对我国空间生命科学的战略需求、发展方向和关键科学问题等方面进行了梳理、分析和展望, 并对我国空间生命科学的发展提出了建议, 以期为我国未来空间生命科学持续、健康地发展提供参考.

2 空间生命科学概述

空间生命科学的学科范畴和研究内容. “空间生命科学”是空间科学和生命科学的交叉学科. 空间生命科学研究平台的建立和研究目标的实现, 离不开空间技术的支撑; 同时, 空间生命科学的研究成果也进一步支撑着人类空间探索的深入发展.

空间生命科学是开展地球生物体, 包括植物、动物(人)和微生物, 在空间特殊环境下的生命现象及其活动规律的基础研究; 开展利用空间特殊环境下的空间生物技术和转化应用基础研究; 开展支撑载人空间探索活动的应用研究; 开展地外生命探索和宇

宙生命起源的探索性研究的交叉学科, 以及支撑空间生命科学研究特殊方法和相关技术研究.

空间生命科学研究, 既包括在真实空间环境下开展的有人和无人操作条件下的生命科学研究, 也包括在地面模拟空间环境下的生命科学研究. 此外, 暴露于真实空间环境的实验生物样本返回地面的后续研究, 以及空间生命科学的地面转化和应用研究也属于空间生命科学研究范畴^[8].

结合空间生命科学的发展历程, 以及当前国际上该学科的发展趋势, 空间生命科学主要涵盖以下四个领域: 航天医学基础、空间基础生物学、宇宙生物学^[9], 以及空间生物技术与转化应用^[10]. 此外, 空间生命科学研究的方法和技术、以及支撑空间实验的实验条件研究^[11], 也是空间生命科学的重要组成部分之一(图 1).

3 空间生命科学发展历程

3.1 国内外空间生命科学历史及现状

3.1.1 国际空间生命科学的发展历程

空间生命科学的诞生与发展与人类真正进入空间环境、实现飞天梦直接相关. 因此, 在其半个多世纪的发展历程中, 每一步都与世界各国的空间计划息息相关. 国际空间生命科学研究起始于 20 世纪 40 年代, 成形于 60 年代初. 依托人类航天活动的空间飞行平台, 结合不同重大计划对生命科学的任务需求和科学目标, 大致可以将空间生命科学的发展历程分为 3 个主要阶段(图 2):

1) 20 世纪 40~60 年代初——面向载人航天准备的起步阶段

空间生命科学的起步阶段涵盖: 对空间特殊环境的初步认识与探索、空间微重力等环境因素对人类和其它生命的效应、发现服务于载人航天的基础生命科学问题等三个方面. 大量的研究及其成果揭示了空间环境中多种因素的生物学效应, 丰富和深化了人类对于生命现象的认识, 支撑了人类的首次载人空间飞行, 并为后续发展奠定了坚实基础.

2) 20 世纪 60~80 年代——载人航天活动取得重大突破的发展阶段

该阶段是空间技术与应用大发展的阶段, 同时也是空间科学的快速和蓬勃发展阶段, 是人类

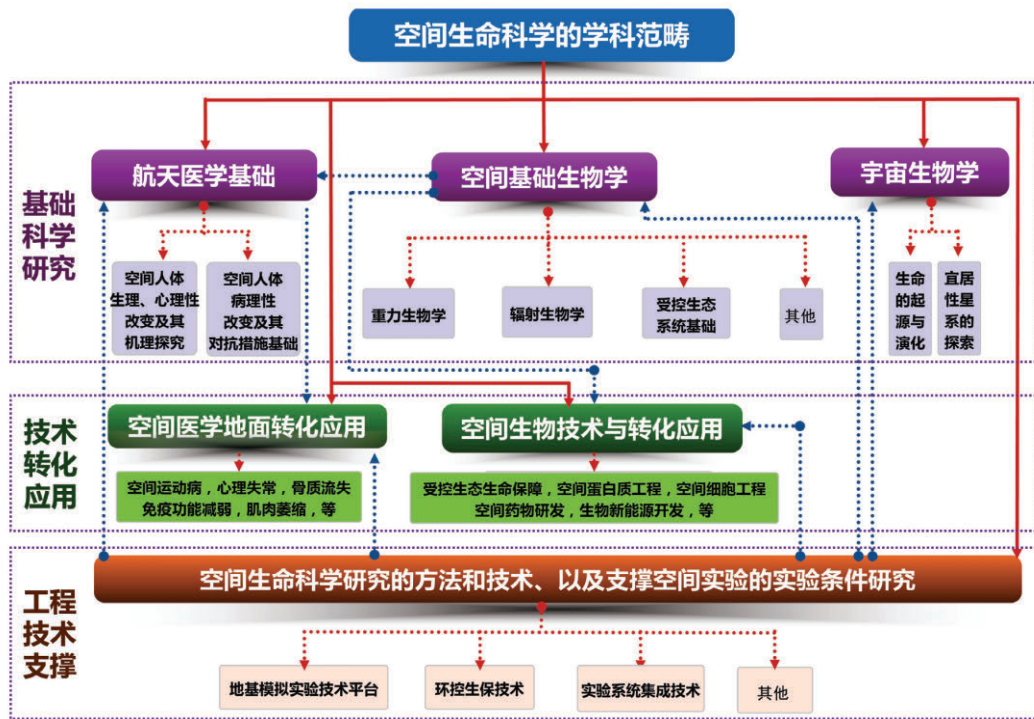


图1 空间生命科学的学科范畴

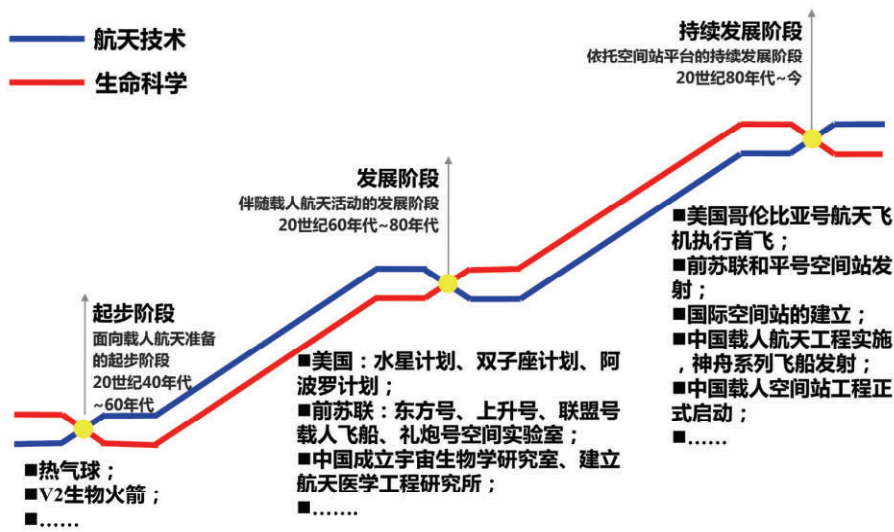


图2 空间生命科学的发展历程

载人航天取得重大突破的年代。随着美国的水星计划(Mercury, 1959~1963)、双子座计划(Gemini, 1961~1966)、阿波罗计划(Apollo, 1961~1972)和前苏联的东方号(Vostok, 1960~1963)、上升号(Voskhod, 1964~1965)、联盟号(Soyuz, 1967~)载人飞船等载人航

天计划相继实施, 载人航天在世界范围内掀起热潮, 英、法、日、德等发达国家, 乃至一些发展中国家, 都各自宣示了自己的空间发展计划, 这给空间生命科学的迅猛发展带来了良机。空间生命科学研究肩负着深化认知空间生命现象和支持载人航天事业持续

发展的双重责任. 因此, 空间生命科学的研究范围已经从初期的探索地球生物进入外层空间可能遭遇的极端环境下的效应观察, 向科学本身知识体系和学科发展进行转变, 逐步形成了航天医学、空间重力生物学、辐射生物学、生理学、微生物学、遗传学、分子细胞生物学、生物力学, 受控生态学, 以及空间生物技术等各个分支学科, 汇成了空间生命科学的完整体系.

3) 20世纪80年代至今——利用空间站平台开展大规模实验研究的持续发展阶段

1981年4月12日, 美国“哥伦比亚号”航天飞机执行首飞, 是空间生命科学发展第三阶段的起始标志点; 1986年2月20日, 前苏联“和平号”空间站发射升空; 1998年11月20日, 国际空间站(international space station, ISS)核心舱段——“曙光”号成功升空是另一重要标志点. 这些大型的空间实验基础设施平台的建设与应用, 为空间生命科学研究提供了前所未有的实验条件. 人类已利用“航天飞机”、“和平号”空间站等实施了大规模的空间生命实验研究任务, 取得了一系列重要成果, 标志着空间生命科学迈入健康、持续发展的新阶段.

3.1.2 国际空间生命科学的主要研究方向

由于美国和俄罗斯(前苏联)掌握着国际空间实验平台和天地往返航天飞行器的主动权, 两国在国际空间生命科学研究领域, 无论是研究规模, 还是研究成果均处于领先水平. 尽管欧盟、日本等众多国家和组织也以不同形式进入国际航天领域, 但与美国和俄罗斯两个航天大国相比, 仍然存在一定的差距. 然而, 其他各国基于本国自身航天计划的科学研究方向和内容, 在空间生命科学研究方面也各具特色.

在近半个世纪中, 美国 NASA 受其政治、经济和技术等因素的影响, 不断进行调整和修订其空间战略规划方向, 总体上对空间生命科学研究领域的全面发展起到了引领和推动作用. NASA 长期以来所开展的基础研究和先进技术开发, 都是以确保人类进入空间后的健康和功效为目标. 因此, 以人类研究计划(Human Research Plan)为核心, 结合双子座(Gemini)、阿波罗(Apollo)、航天飞机等计划实施, NASA 组织和开展了约 736 项的空间和地基相关研究项目^[12,13]. 2010年, NASA 调整其空间生命科学规划,

立足服务于长期载人深空探测的国家战略, 受控生态生命系统的研究被提上更重要的地位, 其学科研究方向依然是围绕人而开展相关的基础生物学问题研究^[14]. 2011年, 美国国家科学研究委员会(national research council, NRC)发布题为《重掌未来的空间探索: 新时代的生命科学与物理学研究》(Recapturing a future for space exploration: Life and physical sciences research for a new era)的咨询报告^[15], 建议开展的空间生命科学重点研究方向包括: 植物与微生物学、行为与心理健康、动物和人类生物学, 以及人类在空间环境中的交叉问题. 2014年, 美国 NASA 又发布了《NASA 2014 战略规划》, 继续强调对空间科学研究中知识、能力与机遇的拓展, 包括: 1) 增加人类在太阳系和火星表面的探索活动, 计划发射“源光谱释义资源安全风化层辨认探测器”(OSIRIS-REX), 并利用机器人系统完成小行星采样返回任务, 以此研究太阳系构成和生命起源的问题; 2) 延长 ISS 使用期限, 进一步完善空间设备继续开展探索研究, 促进空间商业经济的发展, 推进基础生物学研究^[16].

俄罗斯联邦航天局(russian federal space agency, RSA)基于前苏联拥有较多实验平台的良好基础, 积累了空间飞行环境影响不同生物系统的大量科学数据, 开发并发展了多种与人相关的空间医学途径、方法及操作规程; 同时在空间运动病的防护和药物开发、肌肉萎缩和骨质流失防护研究, 空间生物技术研究、失重飞机训练等载人航天相关空间生命科学领域的工程技术发展及应用研究都居世界先进行列, 在半个多世纪的发展历程中取得了举世瞩目的成就. RSA 在近期《俄联邦 2006~2015 年航天计划》中指出: 2025年前俄罗斯将实现载人登月; 2027~2032年在月球建立永久考察基地; 以月球作为远征火星的跳板, 在 2035年开始载人火星之旅^[17]. 2013年, 俄罗斯批准了《2030年前俄罗斯联邦航天活动领域国家政策原则的基本纲要》^[18]. 纲要中与空间生命科学研究相关的任务包括: 1) 研究失重等宇宙空间环境对分子和细胞的影响机制; 2) 开展月球和火星重力的生物学效应及高远地点轨道飞行中的失重和电离辐射的生物学效应研究; 3) 研究近地轨道对有机体产生的影响因素; 4) 发展人类在地球磁场以外空间飞行的相关科学研究. 该纲要生命科学相关任务的顺利执行将解决航天员在空间环境下长期生存、保持工作能力等一系列问题, 并可获得大量关于生物体在

长期的空间飞行中能否生存的科学实验数据。

欧洲空间局(european space agency, ESA)整合了来自欧洲多国的优势资源, 相互合作, 共同完成了多项大型空间科学项目。基于过去成功的科学探测基础, 并为了应对未来科学、智慧和技术的挑战, 近期 ESA 提出了未来 20 年空间科学发展的蓝图——“宇宙全景计划”^[19], 该计划涵盖了宇宙生物学的基本科学问题: 如, 太阳系是怎样形成和演化的; 宇宙的基本规律; 宇宙的起源和组成等。同时 ESA 在空间计划中增加了针对航天员健康保障的基础生物学与航天医学、生态生命保障系统等相关研究。目前 ESA 已经成功开发了大量的生物学实验装置, 包括生物柜、实验载荷及生物单元等, 便于生物实验在不同空间运载工具(如航天飞机、返回式卫星及深空火箭)上能顺利实施。ESA 于 2001 年发布“欧洲空间中的生命和物理科学计划”(ELIPS), 该计划与空间生命科学研究相关内容包括: 生物学领域的生物技术、植物生理学、细胞与发育生物学; 生理学领域的综合生理学、肌肉与骨骼生理学、神经科学; 外太空生物学与行星探索领域的生命起源、演化和分布, 为载人探索行星做准备。迄今该计划已实施到第四阶段 ELIPS-4, 重点在空间人体生理学、空间生物学及宇宙生物学领域进行研究。近期, “面向人类空间探索的欧洲战略”(THESEUS)提出的 99 个关键科学问题已被列为“研究与创新框架计划 2014~2020”(Horizon 2020)高优先级科学主题^[20,21], 以期制定出人类对空间环境的适应性的综合调查报告、提供对抗多压力源的措施, 并开发相关技术和设备。

日本宇宙航空研究开发机构(Japan aerospace exploration agency, JAXA)在近半个世纪中发射已各种试验卫星及小型航天器共计 69 个^[22], 其空间生命科学研究主要在 ISS 的日本 Kibo 实验舱中进行, 围绕宇宙起源和构成及其时空特性, 地外宇宙生命存在的可能性, 主要开展了包括微重力下肌肉萎缩及其与神经系统的关系等生理学和基础生物学研究、辐射生物学研究以及植物生理和细胞生物学研究。此外, 在国际空间生物技术研究方面, 日本是空间蛋白质科学与工程研究的主力军, 其先后利用航天飞机、ISS 的 Kibo 舱等, 持续开展了以空间制药为应用背景的开发研究, 并在与俄罗斯的 JAXA-ROSCOSMOS 合作计划中, 已获取了一系列高分辨率的蛋白质晶体结构^[23]。

值得一提的是 2010 年国际空间站的全面运行和使用^[24,25], 为人类空间科学问题的研究提供了一个历史上规模空前的真实空间环境下的“空间实验室”, 成为开展在地面无法进行的研究工作和验证地基研究结果的有效研究平台, 是人类空间科学研究的一个里程碑和新起点。迄今, 16 个国家的航天员与科学家密切合作, 已在 ISS 中进行了大量的空间科学研究和探索, 主要包括四个方面: 1) 航天医学, 探索空间环境对航天员健康的影响, 并探寻对抗措施以消除或减少影响健康的危害因素; 2) 物理和生物科学, 重点进行微重力环境蛋白结晶技术与物理学实验, 以及细胞生物学和生物技术与转化的研究与应用; 3) 空间技术, 测试和建立新的技术用于未来的空间探索任务, 主要研究飞行舱的材料和微小环境的安全监测与控制; 4) 对地观测和科普教育。其中, 航天医学、生物学与生物技术的研究均属空间生命科学范畴^[26,27]。2013 年 9 月在北京举办的第 64 届国际宇航大会上, 美国航空航天局(NASA)“国际空间站”实验室首席科学家朱莉·罗宾逊和刘可依^[28]回顾了人类在国际空间站中取得的一系列科研成果, 并且总结了其中最重要的十大科学成就, 其中有 5 项与生命科学直接相关, 包括: 1) 通过饮食和锻炼预防在空间中骨质流失的发生; 2) 理解骨质疏松症的机理以开发新的治疗药物; 3) 细菌病原体在空间变得更加致命的途径; 4) 机器人协助脑部手术; 5) 化疗药物新型靶向输送方法, 目前正在用于乳腺癌临床试验。

3.1.3 我国空间生命科学的发展历程及主要研究工作

我国空间生命科学的发展历史可追溯到 50 年代末^[6], 起步时间与国际先进国家几乎同步, 但是发展过程几经波折。1958 年中国科学院生物物理研究所成立了宇宙生物学研究室; 1968 年, 我国建立了航天医学工程研究所, 开始了系统的空间生命科学研究。在“曙光”号任务中, 我国正式开始以航天员健康问题为目标的空间基础研究。该项目主要研究超重对心血管、神经系统的调节作用。1986 年以后, 国家高技术研究发展计划(863 计划)支持了部分空间生命科学研究。自 1992 年起, 我国实施载人航天工程, 开展以航天员系统的航天员空间生命保障和健康维护、空间科学与应用系统的空间生命科学为内容的基础研究, 这两方面的主要任务标志我国空间生命科学研究进

入一定规模化的快速发展的新时期. 我国该领域的研究从早期的现象观察, 发展为对生命过程本质的机制性深入探讨; 同时对于促进地面生物技术药物研发及转化研究进行了多方面探索. 2003年10月, 我国“神舟五号”载人飞船发射的圆满成功标志着我国载人航天工程迈出了历史性的一步^[29], 实现了中华民族的飞天梦. 我国在系列神舟飞船上进行了多次空间生命科学基础研究和航天医学研究^[30]. 2010年9月, 我国空间站任务正式启动, 标志着我国载人航天工程即将实现从中短期载人飞行到航天员长期在轨驻留的重大突破^[31], 将进一步推动我国载人航天技术向更高水平发展, 为我国开展空间生命科学提供有人参与的机会. 我国的空间生命科学工作者已经7次利用返回式卫星, 5次利用神舟飞船(神一~神四, 神八~天宫一号)进行了30多项生命科学研究, 其中包括空间重力生物学、空间辐射生物学、空间受控生态基础、空间细胞/组织工程、空间生物力学、空间生物大分子(蛋白质)分离和结晶等研究方向.

与此同时, 在国家“863计划”和国家载人航天工程项目的支持下, 我国在空间生命科学硬件和技术研发方面也得到了长足的发展和提高. 十几年间, 先后研制了一批空间生命科学的实验装置(包括空间通用生物培养箱、空间细胞生物反应器、空间蛋白质结晶装置、空间细胞电融合仪、空间高等植物培养箱、空间动物胚胎细胞培养箱、空间细胞培养箱等), 并利用国内外的高空火箭落舱、返回式卫星、飞船等空间飞行平台, 成功进行了数十次空间飞行实验, 获得了空间科学研究的大量宝贵经验^[11]. 在“神舟八号”上, 还使用了德国的硬件装置开展合作研究.

然而, 目前我国进行空间搭载实验的机会非常

有限, 且耗资巨大, 暂不能满足对空间环境的深入探索. 因此, 在地面模拟空间环境中开展相关空间生命科学的研究是非常必要的. 近年来, 我国积极发展空间环境地面模拟技术, 在国家重点基础研究发展规划项目(973计划)、国家自然科学基金、“863”计划等一系列重大研究计划的推动下(表1), 已形成了以空间模拟微重力技术为核心的空间生命科学技术体系, 建立了抗磁悬浮、三维回转、后肢去负荷、 -6° 人体卧床、抛物线飞机等地面模拟研究平台, 在特种医学、空间生物学、特殊环境生理学、微重力流体力学等研究方向上开展了100多项地基模拟相关研究, 积累了丰富的实验数据和经验, 为机会稀少的真实空间生命科学实验作了有效的补充.

3.2 我国空间生命科学发展面临的机遇与挑战

3.2.1 我国与国际空间生命科学先进国家存在的差距

虽然近20年我国空间科学技术发展迅速, 但与其它国际空间强国相比, 我国仍存在不小的差距, 主要体现在以下几个方面^[1].

1) 时间短、规模小. 20世纪60年代, 前苏联和美国就开始了载人航天的探索和竞争. 1961年, 前苏联首次将航天员加加林送入太空, 美国也随后将航天员送进太空, 并在1969年实现载人登月, 而我国则在40多年后的2003年才将首位宇航员送入太空. 与美俄相比, 我国只是在近20年才开展有规模的载人空间探索活动, 以及基于载人空间活动开展空间生命科学的研究, 因此, 我国该领域的研究尚处于初级阶段.

2) 可提供的空间实验平台有限. 中国的航天技术与美俄等空间强国相比, 无论从航天飞船和空间

表1 空间生命科学相关的国家科技部重大研究项目

项目来源	项目名称	开始时间
973项目	基于空间微生物变异规律探索重要感染疾病防控新策略研究	2014
	(微)重力影响细胞生命活动的力学-生物学耦合规律研究	2011
	面向长期空间飞行的航天员作业能力变化规律及机制研究	2011
863计划	空间xxx总体关键技术研究	2008
	空间生物再生xxx关键技术	2008
	空间xxx生物医学效应监测及防护关键技术	2008
国家科技支撑计划	空间细胞电转移与分析仪器关键技术研究	2009
	空间生物质谱关键技术	2009
国家重大仪器专项	空间多指标生物分析仪器开发及应用	2012

站吨位、船载人数或在太空停留时间方面均有不小差距, 其中的关键技术还有待进一步发展和提高. 空间实验平台条件的不足, 制约我国在真正的空间环境中进行空间生命科学研究的开展. 目前全世界已发射 10 个空间站, 其中前苏联发射 8 座, 美国发射 1 座. 此外, 还有航天飞机、系列返回式科学卫星等天基实验条件, 以及抛物线飞机和探空火箭等地基实验条件. 而我国目前的主要的研究平台仅有“神舟飞船”、“天宫”、“返回式科学卫星”和探空火箭等. 我国预计将于 2022 年前后建成中国空间站.

3) 研究方向较少, 标志性研究成果少. 目前, 我国空间生命科学需要结合国家战略需求, 明确优先发展方向, 以多样化资助相关研究的方式推动空间生命科学的发展. 统计 2001~2013 年空间生命科学领域研究论文的数量和被引频次表明: 美国依然占据空间生命科学的霸主地位, 在全世界范围内统计的 4600 余篇论文中, 有超过一半的论文为美国科学家的成果. 此外, 俄罗斯、德国、意大利、法国、日本等国家均具有较雄厚的研究实力, 而我国研究实力较为薄弱, 仅仅排名第 11 位. 我国空间生命科学在 2001~2013 年的总发文量仅有 126 篇(是美国的 1/20), 篇均被引频次明显落后于世界平均水平, 而且没有论文入围 H 核论文, 表明我国与其他国家还有较大的差距.

4) 研究队伍规模有限. 我国从事空间科学研究的队伍分散, 人员少. 目前成建制的实验室有 4 个: 航天医学基础与应用国家重点实验室(依托单位: 中国航天员研究与训练中心); 国家微重力实验室(依托单位: 中国科学院力学所); 航空航天医学教育部重点实验室(依托单位: 第四军医大学)和空间生物实验模拟技术国防重点学科实验室(依托单位: 西北工业大学), 另外还有一些科研院所也参与和开展一些空间生命科学相关的研究.

5) 经费支持. 20 世纪 60 年代, NASA 的经费预算曾占到美国联邦总预算的 4.5%, 如今则在 0.6% 左右徘徊, 且有逐年下降的趋势, 但其经费支出的绝对数目还是远远多于我国. 尽管我国也从多种渠道包括, 国家“载人航天工程”、国家“973 计划”、国家“863 计划”、“国家自然科学基金”等项目支持空间生命科学的研究, 但是经费仍然分散, 支持的系统性和连续性差, 不能支撑空间生命科学研究和学科建设的持续健康发展.

3.2.2 我国空间生命科学发展的机遇与挑战

在国际空间生命科学历经半个多世纪发展, 并取得众多骄人成就的今天, 对于中国空间生命科学在 21 世纪的发展可谓机遇和挑战并存. 这就要求我国该领域的科学家在全面回顾国际空间生命科学发展历程的基础上, 结合目前我国载人航天和深空探测的发展实际, 进行深层次梳理分析和战略思考, 有所为, 有所不为, 制定我国的空间生命科学发展战略路线. 从 2009 年开始我国先后制定了《中国至 2050 年空间科技发展线路图》和《中国科学院在国家空间科学发展中的中长期发展规划》等项目计划^[32,33], 并在空间生命科学研究方面明确指出了应将原先比较注重的卫星应用项目——“空间诱变育种”搭载试验, 转向以空间基础生物学与生物技术研究为主的研究项目. 随后又在重点研究项目“空间科学预先研究项目”(第一批)中部署了“空间科学项目发展规划深化研究”课题, 其目的是在“空间科学项目中长期发展规划研究”成果的基础上, 开展针对“十二五”、“十三五”的空间科学项目发展规划深化研究, 结合国际上空间生命科学的最新进展与突破、前沿趋势与国内发展状况, 调研具有重大创新思想的空间生命科学发展现状, 为我国未来 10~15 年的空间科学发展提供参考和决策支持^[34-36]. 2012~2014 年, 由中科院 14 位院士领衔、国内研究院所和高校 28 位同行专家共同编撰了中国科学院学部学科发展战略研究课题——“我国空间科学发展战略研究”的报告, 明确了我国空间科学发展的目标、战略, 针对各领域的重点方向进行了整体规划和建议.

总结分析国内外资料, 虽然我国与国际先进国家存在不小的差距, 但是在我国国家发展的过程中, 已明确空间生命科学是国家战略中不可缺少的重要部分. 中国载人空间站将是未来国际上重要的空间研究实验室, 对于中国科学家机遇与挑战并存. 目前, 虽然国际上已经开展了相当长时间和相当大规模的空间生命科学研究, 取得了骄人的成就, 但是尚有许多科学问题并未得到阐明和解决, 给后续研究者提出了很多问题, 而这些问题是经过国际同行多年研究实践基础上经过凝练提出的. 我国科学家可以充分把握好后发优势, 继承以往国际该领域研究经验和建议, 作为我们发展的踏脚石, 同时结合生命科学发展的时代前沿问题, 利用先进的生物技术, 提出中国空间生命科学的发展需求、目标和关键科学问题.

4 我国空间生命科学发展的战略需求、目标及关键科学问题

我国空间生命科学研究通过几代人几十年的工作,特别是1992年载人航天工程的实施,已较为充分地掌握了国际空间生物学研究的发展态势,学习先进国家空间科学研究的发展经验,引进国际空间站战略规划思想,制定了我国的空间生命科学战略规划原则:立足学科前沿,瞄准创新目标,抓住关键科学问题,突出中国特色.到2030年的发展目标是^[32]:通过发展空间生命科学提升我国的科学水平;同时引领空间技术的进步,为国家能源、环境保护、国防安全、农业和人类健康等提供技术支持.瞄准世界科学前沿目标,从总体上推进我国空间科技发展,使我国空间生命科学与技术的研究跨入世界强国行列,并与国际发展的总趋势保持一致.

4.1 我国未来空间生物科学的战略需求

历经20余年努力,我国已经完成了载人航天三步走战略中的第二步,载人空间站研制工作已经全面开展.未来20年,我国空间生物科学的战略需求可概括为:“支撑保障、探索创新、转化应用、教育科普”.

1) 战略需求之一:支撑航天员长期在轨的生命保障、健康维护和工作效率的基础和应用基础科学研究.

随着我国“载人空间站计划”的实施,未来航天员将面临更长时间的空间飞行和居留,航天员在空间飞行环境下的生存、健康和工效等问题关系到航天探索任务的成败.过去50余年间,尽管这些问题在美国和俄罗斯等发达国家的载人空间活动中已经大部分得到解决,但是由于诸多原因,我国必须独立自主地研究和解决这些问题,并形成自己的特色和创新.在航天医学研究中属于空间生命科学范畴的是:空间复合环境下的心血管功能失调、骨质流失、肌肉萎缩、免疫功能减弱、神经系统功能障碍、空间运动病、时间节律改变、心理学变化等,这些效应背后都还存在许多未解之谜.

2) 战略需求之二:载人航天活动支撑下的空间基础生物学和宇宙生物学等重大科学问题的基础研究与探索.

该领域的相关研究包括:地球生物对于空间环境的感知、响应和适应的现象,空间环境对地球生命体生理稳态的影响规律;以及宇宙中的生命起源、演化和分布探索等.该领域的研究虽然在国际上也经历了数十年的发展,取得了许多标志性的成果,但是仍有许多重大问题没有得到解决和阐明,例如:空间生物效应中的生物力学-化学耦合的问题;空间力学环境是否影响动物的生殖功能;细胞和组织能否在空间环境下正常分化和发育;空间减弱的磁场是否存在对学习记忆能力及发育影响等问题,这都给空间生命科学工作者提出了富有挑战性的课题.

3) 战略需求之三:利用空间特殊环境,发展服务于空间探索和地面人类生活的空间生物技术和转化应用的研究.

面对人类发展过程中日益严峻的健康、环境、能源和粮食等重大问题,中国作为最大的发展中国家,这些问题更加突出!针对这些问题,在空间环境下利用地面相关的生物技术,丰富和促进地面医药、环境、能源和农业等领域的生物技术发展,并转化形成新的产业.该方面研究发展的新方向包括:基于空间环境的人体干细胞发育和分化组织工程和再生医学;空间蛋白质工程技术研究与新型药物产品开发应用;空间特殊环境下的生物工程.受控生态生命支持系统(controlling ecological life support system, CELSS)的有效运行;空间站密闭舱内微生物生态的监测以及微生物危害的防控策略等.

4) 战略需求之四:通过空间生命科学研究活动,激发和培养下一代对于空间科学的兴趣,满足后备人才培养以及科学普及工作的需要.

中华民族要实现伟大复兴,需要有一代又一代脚踏实地、同时又仰望星空的人才,空间生命科学是有人参与的空间科学活动,是最好的教育下一代的手段和课堂.

4.2 我国空间生命科学的发展目标

为了满足未来战略需求,我国空间生命科学的发展目标是^[37]:经过15~20年的努力,使我国空间生命科学整体跨上新台阶,进入世界先进行列;努力在若干重点领域取得有重大影响的领先科学发现和突出成就;使我国在国际空间生命科学领域有突出地位和重大影响.

1) 航天医学领域:建成完整的航天医学研究空

间实验平台和支持体系,在更好地保障地球轨道中长期空间飞行中人的健康的基础上,为月球、火星以及星际空间载人探索提供研究基础,用5~10年建成航天员中长期(180 d以上)空间站驻留的生命保障和健康支持体系,获得中国航天员系统性的空间中长期驻留健康数据。

2) 空间基础生物学领域:在空间(微重力、辐射和磁场等)环境对地球生命体生理稳态的影响规律及其机理研究领域取得一些重要成果,包括,为解决空间环境下地球生物体生存和适应等基础生物学问题提供基础研究数据;建立空间生命科学研究的系统实验体系;明确空间基础生物学的基本概念并实现研究方法和实验技术的突破。

3) 空间生物技术和转化应用领域:在干细胞的空间组织工程(重要组织)、空间蛋白质科学和药物研发、受控生态生命支持系统基础研究、长期在轨条件下的空间微生物危害安全防控研究、合成生物学与生物工程等方面获得重要进展和地面转化研究成果。

4) 宇宙生物学领域:建立适用于宇宙生物学研究的太空暴露环境实验平台,以分子和极端环境微生物为实验样本,发现新的实验证据,丰富极端环境下的生命起源和演化的相关研究成果。

4.3 我国空间生命科学研究的科学问题

1) 航天医学基础问题。中长期空间飞行对人类健康的影响包括:暴露于失重环境产生的生理变化及其机制(心血管功能失调、废用性肌肉萎缩、失重性骨质流失、免疫功能下降、航天贫血症和空间运动病等);宇宙辐射对健康的危害(肿瘤发生、白内障等);长期幽闭环境对心理的影响(空间乘员心理相容性、环境心理适应性等)。

2) 空间基础生物学问题。地球生物感知(微)重力信号及其信号传导和响应的过程;地球生物适应(微)重力环境的变化规律;空间辐射剂量的生物学检测方法;空间辐射损伤与修复的机理;空间辐射屏蔽与防护的措施基础;空间受控环境下生态学基础;空间环境下微生物变化的规律;变重力环境调控生命体的力学-生物学耦合规律;跨尺度力学-生物学耦合的整合研究;地磁场减弱或消除后的生物学效应及机制等。

3) 空间生物技术研究及转化问题。从生命科学与技术视角利用(微)重力环境资源的途径;基于干

细胞的空间三维培养与组织构建及组织自组装机理研究;空间蛋白质结晶技术基础与应用研究;空间环境下的合成生物学研究;空间生物工程;空间生物材料制造技术研究(空间制药,纳米生物材料的仿生制备)等。

4) 宇宙生物学问题。宇宙(包括地球)生命如何起源、演化和分布;地球极端环境中的生命现象与形式;地外生命及生命迹象探索;生命起源和演化的分子的寻找和古核细胞研究等。

5 优先发展方向和路线图

我国载人空间站将成为未来我国空间生命科学的主要空间实验平台,利用好空间站是我国空间生命科学跨越发展的历史机遇和重要途径,空间站生命科学项目研究和硬件设施在今后十几年内将逐步实施并不断升级完善。此外,我国还将发射多颗科学实验卫星,以及利用其它国家的空间平台进行空间生命科学国际合作机会。因此,结合上述空间生命科学的关键问题,我国在空间生命科学领域的重点发展方向应包括:

1) 航天医学基础研究与应用研究:研究空间飞行和空间环境对人体产生影响的生理学基础和细胞/分子/生物力学机制等;研究和开发航天医学保障系统及空间环境消极影响的对抗措施,为空间站长期载人活动的开展和人类空间探索提供科学依据。

2) 空间基础生物学及宇宙生物学研究:研究微重力、空间辐射、亚磁等条件及其复合条件下,生物体从生物分子到整体各层次生命活动的响应和变化,探究生命现象的深层机理;开展蛋白与核酸共起源及密码子起源等生命分子进化的实验研究;研究空间特殊环境下生命起源的分子过程和机理。此外空间生物技术中有重要应用前景和转化意义的需求也需要受到重视。地外空间生命探索的部分内容将与空间天文和深空探测有所交叉。

在今后的15年中,基于我国空间生命科学的需求和已有研究基础,我们建议优先发展的科学计划包括:1)“航天医学研究计划”以进入空间的人为主要研究对象,辅以动物实验,研究包括心血管功能失调、骨质流失、肌肉萎缩、免疫功能减弱、神经功能障碍、空间运动病等机制;2)“植物重力生物学研究计划”:从多个角度研究解决植物对微重力的刺激转导

和代谢响应的细胞学和分子学机理, 验证相关理论, 集中力量突破重大科学问题。

经过调研与讨论, 我们初步描绘了我国空间生命科学发展战略建议路线图(图 3), 以我国载人空间站、返回式卫星、生物火箭、外星球探测卫星为重要实验平台, 在航天医学基础、空间基础生物学、宇宙生物学、空间生物技术与转化、空间实验平台与技术等五个重要领域寻求突破, 形成研究团队, 以空间生命科学重大课题为牵引, 整合资源, 促进我国空间生命科学快速发展。

目前我国的空间站有效载荷量大(有效载荷 17 t, 可扩展), 具备天地往返运输、全球测控通讯、航天员参与、实验设备更换升级等卫星所不具备的突出优势, 建成后将成为综合性的国家级空间实验室, 其科学活动将持续 10 年以上, 届时可能成为国际上唯一运行的空间站^[38]。未来 20 年, 我国空间生命科学的研究将开启空间站时代, 也将成为我国空间生命科学发展历史中的黄金时期^[39]。在近期规划的载人航天任务中, 天宫-2(TG-2)空间实验室(2015)安排了高等

植物培养实验; 天舟-1(TZ-1)货运飞船(2016)将开展微重力对细胞增殖和分化影响研究^[30,40]; 而在 2020~2032 年, 在我国空间站中将开展系列空间生命科学实验研究, 其研究样本包括微生物、植物和动物, 以及细胞和组织; 并将从分子、细胞和个体等多个生物学层次开展系统性基础研究。研究范围将涉及重力生物学、辐射生物学、亚磁生物学、微生物学、生物力学等领域; 同时, 空间站中也将开展空间生物技术和转化研究, 包括细胞工程、空间蛋白质结晶、空间细胞培养和组织构建、空间干细胞培养和定向诱导分化、生物分子纯化与功能结构分析等应用研究和空间生态生命支持系统(水生系统、陆生系统等)研制工作。从面临的任务和今后发展需求考虑, 目前需要先期部署的空间生命科学相关重点技术包括: 空间生物实验系统技术; 光温气液的供应与调控、细胞/组织培养、植物和小型动物实验环境保障、生物安全检测技术; 先进显微、光谱、荧光、激光等生物观测表征; 生物微芯片技术(微流控、微流道分离、生物诊断等); 空间小型基因组自动测序和其他组学分析设备; 低

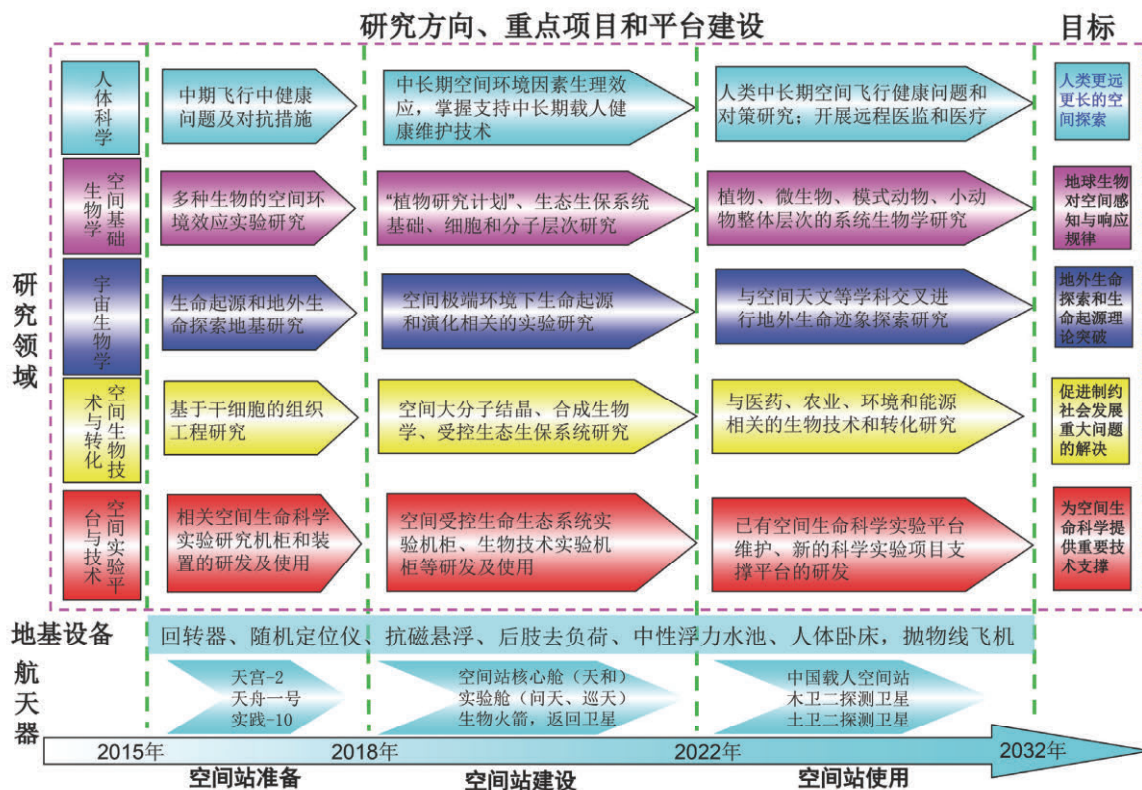


图 3 我国空间生命科学建议路线图

温生物样品存贮, 化学物理固定技术; 生物样品入轨与返回条件保障和防护技术; 空间站生物样品快速返回地球着陆回收技术等^[41]。

6 空间生命科学发展途径建议

6.1 学科建设与研究队伍建设

空间生命科学研究方向覆盖(流体、固体、生物)力学、生物材料学、生物医学工程、细胞-分子生物学、发育/干细胞生物学、免疫学、基因组学/蛋白质组学/生物信息学、空间生命科学与工程等交叉学科。在学科与研究队伍的建设中, 首先应借鉴国外的运行机制, 建立国家科研机构、大学和公司/私立科研机构共同组成的联合研究开发机制, 并以此为基础, 在空间生物科学的几个重要领域, 以分支学科或重大问题为牵引, 依托重点实验室, 跨单位和跨学科的凝聚和组织国内优势团队, 建立起一支具有国际影响力, 并整合力学、物理、生物学与航天科学与工程等学科相关领域具有长期工作积累和研究工作基础的交叉团队。培养优秀青年骨干、研究生/博士后, 为后续的神舟飞船和目标飞行器、乃至空间实验室和空间站的科学实验的顺利完成储备人才, 为我国载人航天第三步发展规划和“载人空间站工程应用任务”取得突破性进展奠定基础。

6.2 研究平台与基地建设

美国、俄罗斯等航天大国早在几十年前就在地面上建立起了各种类型的实验平台, 而我国的整个系统研究水平远远落后于其他世界航天大国, 将会严重影响我国的载人空间探索和研究。因此我们亟需依托我国的载人空间站, 设立自己的空间生命科学实验研究平台, 并建设空间环境地面模拟设施作为地面基地。采取分散与集中相结合的方式, 将地面预研、空间实验、地面开发应用分配在不同的成员单位。建设具备国际性、开放性和现代化管理的, 拥有先进完善研究设备的能够吸引国际一流人才的研究和培训基地。

6.3 国家政策与投入支持

作为一个航天大国, 我国在空间生命科学的研究方面并没有专门的“生物卫星计划”, 长期存在着空间生命科学研究落后于航天技术发展的极为不平

衡、不协调、不合理的局面。这种局面要得到根本的扭转, 首先必须有国家统一的领导、管理机构, 用系统综合与集成的方法制定适合于我国的空间科学技术规划和计划, 将科学目标与国家战略需求相结合。同时根据研究的长期性, 形成一个长期的政策和经费支持体系, 适度引进其它部委来源的经费支持, 在一个明确的建设目标引导下, 分阶段完成建设任务。此外还可以制定“企业支持优惠”政策, 引导国家导向的正效应和企业参与的积极性。

6.4 管理体制和运行机制改革

我国应制定空间生命科学规划, 统筹管理, 整体协调空间生命科学发展, 并建立合理的项目遴选机制, 公开、公平、公正、透明的鼓励多渠道、多部门筹资, 共同支持和培育空间生命科学项目, 通过培训和顾问程序建立强大的智力资本通道。

确立学科领域的牵动管理体制, 进行自上而下的任务部署, 责任到人。在制定管理规范方面如, 在轨硬件平台建设需要由相关领域内硬件研制单位根据科学目标进行构建, 预先研究需要领域内的专家以在轨应用为目的关键技术为牵引, 组织领域内具有相关技术优势的单位进行联合攻关; 在基础研究方面, 应依据领域内的科学前沿问题, 在全国范围内征集项目并吸引相关交叉学科; 在成果的转化方面, 研究所取得的成果必须能直接应用于航天任务; 而针对空间特殊环境生物学效应对抗措施研究(包括药物以及物理性的对抗措施等)均可以实现转化应用于地面人群相关疾病的治疗。

6.5 国内外交流与合作

加强国内和国际合作将是整个高新技术发展的重要途径, 也是快速、经济和高效发展航天事业的重要途径。因此, 空间生命科学的研究也要加强国内外及多学科合作, 才能有突破性的发展。目前在国际合作方面, 我国相关领域的专家已与 NASA, JAXA 以及 ESA 等相关专家已具有了一定的合作基础, 例如目前合作良好的中-德空间生命科学研究空间合作项目(如返回式卫星、抛物线飞机等), 及拓展中-日空间生命科学研究空间合作项目(如落管等)。鉴于空间资源的稀缺性和垄断性, 继续加强国际合作交流十分必要, 特别是我国载人空间站的建立和运行, 势必会吸引美、俄等国与我国开展空间生命科学研究和技术

开发等相关国际合作项目,但须坚持“合作共赢”、“谁投资谁受益”的原则进行合作与交流。

国内空间生命科学领域的合作已经在部分高校和中科院部分研究所间开展起来。但仍需国家相关部门进行牵头,带动项目发展并进行优势资源整合,使得相关研究单位能够强强联合,更好地发挥各自在不同研究领域的优势。

7 结语

回顾国际空间生命科学发展的历史和现状,作为一个独立发展的空间科技大国,我国在过去的半个多世纪里,在空间技术和空间应用领域取得了令世人瞩目的成就。但是,我国空间生命科学研究,无论在空间研究平台、研究的广度与深度、取得的成果、以及人才队伍等方面与空间强国的世界先进水平相

比仍存在着巨大的差距。未来的20年中,中国载人空间站、返回式科学实验卫星等空间实验条件,将为我国生命科学的发展提供前所未有的机遇,将是我国空间生命科学发展的黄金时期。我国空间生命科学领域的科学家应该立足于国际生命科学和空间生命科学研究的前沿,做好顶层设计和科学规划,把握科学问题的长期性与研究技术和实验方法进步的迭代关系,瞄准前沿科学问题,同时重视新技术和新方法在空间生命科学领域中的应用;加强地基和天基研究的协同发展,通过开展交叉学科研究,建设空间生命科学学科;注重优势团队和后备人才培养,并注重科学普及工作;加强开放和国际合作与交流。有理由相信,经过未来20年乃至更长时间的努力,中国空间生命科学会取得长足的发展、创新性和突破性的成果。

参考文献

- 1 顾逸东. 我国空间科学发展的挑战和机遇. 中国科学院院刊, 2014, 5: 575-582
- 2 姿聊. 中国运载火箭技术发展概况. 中国航天, 2003, 10: 46-49
- 3 庞之浩. 空间生命科学. 自然杂志, 1991, 7: 13-18
- 4 汤章城. 空间生命科学研究进展. 中国科学院院刊, 1995, 2: 128-133
- 5 刘承宪. 21世纪空间生命科学和空间生物技术发展机遇与挑战. 空间科学学报, 2000, 5: 37-47
- 6 任维, 魏金河. 空间生命科学发展的回顾、动态和展望. 空间科学学报, 2000, 5: 48-55
- 7 商澎, 呼延霆, 杨周岐, 等. 中国空间站生命科学研究展望. 载人航天, 2015, 21: 1-5
- 8 庄逢源. 空间生命科学: 一门极具挑战性且蕴藏着重大发现的新兴学科. 科技导报, 2003, 10: 46-49
- 9 格尔达·霍内克. 庄逢源, 译. 宇宙生物学. 北京: 中国宇航出版社, 2010
- 10 汤章城. 空间生物技术研究与应用动态. 生命科学, 2002, 6: 375-378
- 11 郑森, 王超, 李春, 等. 空间生物反应器研究进展与策略. 航天医学与医学工程, 2010, 5: 386-390
- 12 NRC. The Astrophysical Context of Life. Washington DC: The National Academies Press, 2005
- 13 NRC. Research for a Future in Space: The Role of Life and Physical Sciences. Washington DC: The National Academies Press, 2012
- 14 NASA. The NASA Fundamental Space Biology Science Plan 2010-2020. 2010
- 15 NRC. Recapturing a Future for Space Exploration: Life and Physical Sciences Research for a New Era. 2011
- 16 NASA. NASA Strategic Plan 2014. 2014
- 17 魏雯. 俄罗斯调整2020年前遥感卫星系统发射计划. 中国航天, 2013, 1: 23-27
- 18 赵爽, 崔晓梅. 俄罗斯制定2030年前及未来航天发展战略. 国际太空, 2012, 7: 28-31
- 19 ESA. ELIPS: Life & Physical Sciences in Space Executive Summary. 2001
- 20 ESF. Independent Evaluation of ESA's Programme for Life and Physical Sciences in Space (ELIPS). 2012
- 21 ESA. ELIPS-4 ESA Thematic Information Day. 2012
- 22 关祝. 成为国家战略的日本航天业. 太空探索, 2010, 8: 45-46
- 23 JAXA. Experiments in Kibo. 2014-12-31
- 24 李辉, 余志斌. 国际空间站上的空间生命科学研究与进展. 航天医学与医学工程, 2008, 5: 443-450
- 25 王海霞, 韩淋, 吕晓蓉, 等. 国际空间站科学实验发展态势分析. 科学观察, 2010, 4: 1-14
- 26 武尧尔. “国际空间站”的应用、问题和前景. 国际太空, 2011, 7: 17-27
- 27 薛红卫, 汤章城. 空间站生命科学研究分析和思考. 载人航天, 2011, 5: 1-6

- 28 朱莉·鲁滨逊, 刘可依. 国际空间站令人瞩目的十大科学成就. 太空探索, 2014, 5: 40-43
- 29 苗鹤青. “神舟”号的凯旋—中国首次载人航天飞行全记录. 国际展望, 2003, 21: 10-13
- 30 庞之浩. 中国的载人航天工程. 卫星应用, 2012, 5: 18-25
- 31 东方星. 空间站:开发太空的理想平台. 国际太空, 2014, 1: 35-39
- 32 中国科学院空间领域战略研究组. 中国至 2050 年空间科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009
- 33 中国科学院. 科技发展新常态与面向 2020 年的战略选择. 北京: 科学出版社, 2013
- 34 中国科学技术协会. 2011-2012 空间科学学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2012
- 35 中国生物医学工程学会. 2006-2007 生物医学工程学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2007
- 36 中国科学院. 中国学科发展战略: 生物学. 北京:科学出版社, 2013
- 37 顾逸东. 空间科学—探索与发现之源. 物理, 2014, 43: 570-578
- 38 恩赛因·乔丹·弗雷, 晓曲(译). 中国空间站的国际合作新视野. 国际太空, 2014, 10: 24-29
- 39 胡文瑞. 美国国际空间站的经历与探索及对我国的启示. 中国科学院院刊, 2010, 25: 335-344
- 40 徐菁, 负敏. 中国载人空间站工程进展. 国际太空, 2012, 12: 20-26
- 41 苏怀朋, 赵振昊, 孙永进, 等. 载人空间站空间科学应用研究. 宇航学报, 2014, 35: 985-991

Tendency and critical scientific issues of space life science in China

SHANG Peng¹, HUYAN Ting¹, YANG ZhouQi¹, WU XiangLong¹, ZHAO YuFen²,
ZHAO GuoPing³ & GU YiDong⁴

¹ Key Laboratory for Space Biosciences and Biotechnology, School of Life Sciences, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

² College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

³ Institute of Plant Physiology and Ecology, Shanghai Institutes for Biological Sciences, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China;

⁴ Technology and Engineering Center for Space Utilization, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

As an emerging interdisciplinary, space life science, generated and developed with human space, especially manned space exploration, covering very wide research fields. In the past more than half a century, many significant findings and achievements have been achieved in this field, which not only supports the missions of manned space exploration, but also provides service for the life on the earth. With the continuous development of Chinese manned space and deep space exploration activities, especially the startup of Chinese manned space station project, the next two decades will be the prime time for the development of Chinese space life science. To conduct space life science, obtain new knowledge and innovative technology and provide further service for human space exploration, national economic and social development basing on Chinese manned space station and return type scientific satellite experiment platform, which need us to study and thinking systematically from the strategic perspective of subject development. By reviewing the historical and current development of space life science at home and abroad, this essay analyzes and prospects the strategic needs, key scientific problems and development direction of Chinese space life science, in order to provide inspiration and reference for its development.

space life science, strategic demand, tendency, critical scientific issues

doi: 10.1360/N092015-00093