

专著 西北工业大学
出版基金 资助项目
ZIZHU XIANXIMU

ZHUANZHU

空间生物学与空间生物技术

商 澎 杨鹏飞 吕 毅 编著

ZHUANZHU

西北工业大学出版社

西北工业大学研究生高水平课程体系建设丛书

KONGJIAN SHENGWUXUE YU KONGJIAN SHENGWU JISHU

空间生物学与空间生物技术

商 澎 杨鹏飞 吕 毅 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书较全面、系统地介绍了空间生物学与空间生物技术领域的基础理论及前沿研究进展。全书共分2篇18章。第1篇为基础篇,内容包括空间特殊物理环境的基本概念,动物、植物、微生物等在细胞、生理和个体发育层面对空间环境的响应以及空间生物力学和生命起源等基础研究;第2篇为技术篇,内容包括空间和地基模拟实验的硬件设备技术,空间细胞培养、蛋白质晶体生长、生物分离、育种、制药技术以及受控生态系统等技术应用研究。

本书可作为高等院校空间生命科学相关专业高年级本科生和研究生的辅助教材,也可供相关学科专业的教师和科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

空间生物学与空间生物技术/商澎,杨鹏飞,吕毅编著. —西安:西北工业大学出版社,2016.3

(西北工业大学研究生高水平课程体系建设丛书)

ISBN 978-7-5612-4782-2

I. ①空… II. ①商… ②杨… ③吕… III. ①航天生物学—研究生—教材 ②空间科学—生物工程—研究生—教材 IV. ①Q693 ②Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 062943 号

策划编辑:华一瑾

责任编辑:张珊珊

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpup.com

印刷者:兴平市博闻印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:23.875

字数:576千字

版次:2016年3月第1版 2016年3月第1次印刷

定价:88.00元

编审委员会

主 任 商 澎

副主任 杨鹏飞 吕 毅

编 委 (按编写章节顺序排名)

尹大川	黄庆生	杨 慧	曹慧玲	郑慧琼
张 岳	王高鸿	卢慧麓	骞爱荣	胡丽芳
王金福	余志斌	李 钰	续惠云	丁 冲
张 涛	李文建	贾 斌	李京宝	邓玉林
刘录祥	郭双生	卢婷利		

前 言

随着世界经济的发展和航天科技的进步,人类探索太空、利用空间资源的需求不断增加,各空间大国已将空间生命科学作为空间科技领域发展的重要方向之一。我国正处于空间科技快速发展的关键时期,以载人飞船和返回式卫星为代表的空间技术已经成熟,航天实力稳步提升。但是与各航天大国相比,我国在空间生物学和空间生物技术领域的基础科学研究与人才培养方面还存在一定的差距,其中该领域相关著作的缺乏即为明显的体现之一。

本书的编写工作是基于西北工业大学“空间生物科学与技术”这一学科多年建设基础之上的。2004年,西北工业大学在“985”工程的支持下开始建设“空间生物技术实验室”,2007年该实验室获准为国防科学技术工业委员会首批“国防重点学科实验室”,2008年“空间生物科学与技术”学科获批国防科技工业局的“国防特色学科”。在此过程中,支撑该学科的各个研究团队瞄准国家在航空航天领域特别是在空间生命科学领域的重大需求,进行了大量原始创新和集成创新的基础研究工作。该学科和重点实验室的建设也得到了国内前辈同行的大力支持、帮助和指导。本书即是在该学科科学研究和经验积累的基础上,特别邀请了国内多年从事空间生命科学研究的专家,结合多方的基础研究经验和实践经验编写而成的。本书部分内容在一定程度上反映了编审委员会成员多年的研究成果,不仅向广大读者介绍了该领域的前沿基础研究现状,同时也是国内该领域专家对各自研究成果的系统总结。

我国航空航天类科研机构 and 高等院校不仅需要从事该领域的基础科学研究,更肩负着培养未来高质量后继人才的重任。因此,更加有必要从基础研究前沿、学科建设和人才培养的角度,以专著等形式,立足基础理论,注重系统性、交叉性,同时反映学科进展和前沿,系统地介绍该学科领域的基本理论、研究成果和应用,为这一庞大的系统工程添砖加瓦。

本书对学科和相关领域的基础理论、学科体系、研究成果和发展趋势进行了回顾和展望。全书的内容分为两篇,共18章,以空间生物学效应为基础,以空间生物技术为支撑,适当介绍

空间生物技术的应用。编写过程中特别注重空间生物学与空间生物技术研究特殊性,即科学问题与实验技术条件的密切关联、不可分割的关系,具体内容如下。

第一篇为基础篇(第一章~第十章),主要介绍空间生物学基础理论和研究进展,包括空间环境下微生物、植物、水生生物、细胞等的响应,以及空间发育生物学、空间生理学、空间辐射生物学、空间生物力学和生命起源及地外生命等。

第二篇为技术篇(第十一章~第十八章),主要介绍空间生命技术,包括空间生命实验设备与技术、空间生命科学地基实验技术、空间细胞培养与组织工程、空间蛋白质晶体生长技术、空间生物分离技术、空间技术育种、空间受控生态生命保障系统和空间制药技术等。

相比国内外已出版的同类书籍,本书有以下特色。首先,本书力求体现基础性、系统性、交叉性和前沿性,反映出该学科的基本范畴和体系,并将学科发展与研究进展相结合,综合反映国内外该领域现状和发展趋势。其次,本书编写过程中特别邀请我国在该领域工作的一线中青年专家组成编审委员会,他们分别工作在生物学的不同二级学科,既保证编写质量,又最直接地反映我国以及国际上在该领域的工作进展。最后,本书从基础、技术和应用方面进行介绍,注重基础性和前沿性,同时注重系统性和交叉性,体现“空间生物科学”与“空间生物技术”的结合,注重“科学”(研究问题)与“技术”和“工程”(研究手段和研究条件)、空间科学与生命科学的有机结合,在一定程度总结反映了编者近年来在“空间生物学与空间生物技术”基础科学研究领域的实践经验,以及“空间生物科学与技术”这一特色学科的建设实践过程。

本书的具体编写分工如下。绪论:商澎;第一章:尹大川;第二章:黄庆生,杨慧,曹慧玲;第三章:郑慧琼,张岳(中国科学院上海植物生理生态研究所),吕毅;第四章:王高鸿(中国科学院水生生物研究所),卢慧薏;第五章:蹇爱荣,胡丽芳;第六章:王金福(浙江大学);第七章:余志斌(第四军医大学);第八章:李钰(哈尔滨工业大学),续惠云,丁冲;第九章:杨鹏飞;第十章:蹇爱荣;第十一章:张涛(中国科学院上海技术物理研究所);第十二章:李文建(中国科学院近代物理研究所),尹大川,贾斌;第十三章:蹇爱荣,郑慧琼(中国科学院上海植物生理生态研究所);第十四章:尹大川;第十五章:李京宝,邓玉林(北京理工大学);第十六章:刘录祥(中国农科院作物科学研究所航天育种研究中心);第十七章:郭双生(中国航天员中心载人航天环控生保室);第十八章:卢婷利。(注:未特别注明单位的编委均属西北工业大学)

需要特别说明的是,在编写本书的过程中,我们得到了多位国内同行学者、专家的指导和帮助,限于篇幅,无法一一列举姓名,在此一并表示衷心的感谢。此外,本书编写力求通俗易懂,以满足专门从事生物科学、空间科学技术等工作的专业人员,高等院校相关专业的研究生、本科生,以及对空间生命科学与技术感兴趣的读者等不同层次的需求。

由于水平所限,书中的错误和纰漏在所难免,恳请专家、同行和广大读者批评指正。

商 澎

2016 年 2 月于西安

目 录

绪论	1
第一节 空间生命科学的概念	1
第二节 空间生命科学研究的发展历程	2
第三节 微重力生物效应的一般原理	3
 第一篇 基础篇	
第一章 空间环境的物理基础	9
第一节 空间环境	9
第二节 空间环境的物理特征	10
参考文献	16
第二章 空间微生物学	17
第一节 空间微生物学的研究历程	17
第二节 空间微生物效应与机理	19
第三节 空间微生物生态系统	23
第四节 空间环境微生物的危害	28
第五节 空间微生物学的应用	33
第六节 空间微生物学的未来发展	35
参考文献	37
第三章 空间植物学	42
参考文献	52
第四章 空间水生生物学	53
第一节 空间水生生物学的意义	53
第二节 空间环境对水生生物的生物学效应及机制	55
第三节 水生生物在建立 CELSS 中的作用	61
参考文献	63
第五章 空间细胞生物学	65
第一节 空间细胞生物学概论	65

第二节	空间细胞生物学主要研究内容	68
第三节	空间失重环境下的细胞生物学研究	71
第四节	空间失重环境对细胞基因表达的影响	80
第五节	空间环境对细胞信号转导途径的影响	83
第六节	空间细胞生物学研究面临的挑战与展望	88
参考文献	.....	90
第六章	空间发育生物学	95
第一节	空间发育生物学导论	95
第二节	空间发育生物学的研究概况	97
第三节	空间发育生物学的未来展望	106
参考文献	.....	107
第七章	空间生理学	109
第一节	基本概念	109
第二节	微重力对心血管系统的影响及其对抗措施	110
第三节	微重力对骨骼系统的影响及其对抗措施	116
第四节	微重力对骨骼肌系统的影响及其对抗措施	120
第五节	微重力对神经与前庭系统的影响及其对抗措施	127
第六节	空间活动对航天员营养与其他系统的影响	130
第七节	对抗措施的效果	132
第八节	小结	133
参考文献	.....	133
第八章	空间辐射生物学	135
第一节	空间辐射环境	135
第二节	空间辐射环境的生物学效应	143
第三节	空间辐射的健康防护	155
第四节	空间辐射生物物理模型的研究	160
参考文献	.....	162
第九章	空间生物力学	164
第一节	空间生物力学简介	164
第二节	空间环境下的生物固体力学问题	165
第三节	空间环境下的生物流体力学问题	169
参考文献	.....	177
第十章	生命起源与地外生命	179

第一节 生命起源	179
第二节 地外生命	188
参考文献	193
第二篇 技术篇	
第十一章 空间生命实验设备与技术	199
第一节 引言	199
第二节 空间生命实验设备与技术的发展	199
第三节 空间生物实验设备的组成与功能	206
第四节 典型空间生物实验设备	221
第五节 先进的空间生物实验系统平台	245
参考文献	265
第十二章 空间生命科学地基实验技术	267
第一节 空间重力实验技术	267
第二节 空间重离子辐射生物实验的地基模拟设备与技术	276
第三节 空间亚磁场环境地基实验技术	288
参考文献	293
第十三章 空间细胞培养与组织工程	294
第一节 空间细胞培养的目的及意义	294
第二节 空间细胞培养的研究发展概况	295
第三节 空间细胞培养的条件及方法	298
参考文献	300
第十四章 空间蛋白质晶体生长技术	302
第一节 空间蛋白质晶体生长技术概述	302
第二节 模拟微重力环境下的蛋白质晶体生长	305
第三节 空间蛋白质晶体生长技术发展展望	309
参考文献	309
第十五章 空间生物分离技术	311
第一节 空间电泳技术	311
第二节 空间生物分离发展概况	316
参考文献	318
第十六章 空间技术育种	319
第一节 空间技术育种的概念和特点	319

第二节	空间技术育种的发展历程和成就	321
第三节	空间技术育种的程序	326
第四节	空间技术育种的安全性问题	328
第五节	空间技术育种的问题与展望	329
参考文献	.....	330
第十七章	空间受控生态生命保障系统	332
第一节	基本概念	332
第二节	科学意义	332
第三节	开展此项研究的必要性、可行性和紧迫性分析	333
第四节	该领域包含的关键科学问题分析	334
第五节	国内外研究现状与发展趋势	335
第六节	废物高效循环利用	336
第七节	人与系统集成技术	338
第八节	系统数学仿真模拟技术	339
第九节	结论与展望	340
参考文献	.....	340
第十八章	空间制药技术	342
第一节	空间制药技术的特点	342
第二节	空间制药技术概述	342
第三节	空间药物防护技术	344
参考文献	.....	357
附录	.....	360
各章通用名词简称或名词解释	.....	360

绪论

第一节 空间生命科学的概念

一、空间生命科学研究的目的和意义

自古以来,生活在地球上的人类就对浩瀚的宇宙充满好奇和向往,并对其进行了长期的探索和研究。自1961年苏联航天员尤里·加加林开启迈向太空的第一步后,迄今已有20多个国家的多名航天员先后遨游太空。随着人口的爆炸式增长,地球上有限的能源、水和土地等资源紧缺,作为一个封闭系统,地球生态系统的稳定性也在逐步下降。为了寻找出路,人类将目光转向了远离地球的外太空,开发地外资源,开拓新的生存空间。

空间科学技术是现代科学发展的前沿,是先进技术的代表,是社会生产力高度发达的重要标志,也是综合国力的体现,它的发展促进和带动了其他科学技术领域。其成就为人类解决众多科学和经济问题开辟了全新的途径。

在整个空间探索活动中,人是活动的主体和最终服务对象,开展空间生命科学的研究,是保证空间探索活动顺利开展的基础。如何保证人在空间特殊环境下健康、安全并高效工作,了解人在返回地球后的再适应过程,以及对后代是否有影响是空间生命科学研究的首要任务。其次,研究空间特殊环境下人及其他模式生物的生长发育、繁殖、代谢等生命活动过程是否受影响,其生物学机制是什么。研究地外生命起源,利用空间特殊环境条件开展应用性研究,推动相关领域技术的发展,解决地面人群所面临的问题也是该学科研究的重要领域。空间生命科学的研究不仅增加了该领域的新知识,也利于指导人类如何在空间中更好地生活、工作,同时为基础生命科学问题研究提供了新场所,如研究重力在地球生命形成、进化、维持以及衰老过程中的作用。

二、空间生物学和空间生物技术的概念

空间探索的开展在推动已有学科发展和融合的同时,也开辟了新的学科。空间生命科学主要包括心理学、生理学、医学、生物学以及与之相关的物理、化学、地质、工程以及天文学等。

其中,空间生物学是空间生命科学的重要组成部分。目前一般认为,空间生物学是指地球上的或地球以外的生命,当其生存于地球大气层以外时,进行生物学现象及其规律研究的一个学科。

空间生物技术是指利用空间特殊环境,以现代生命科学理论为基础,结合其他基础科学的科学原理,采用先进的技术手段,按照预先的设计改造生物体或加工生物原料,为人类生产出所需产品或达到某种目的,为社会服务,它是一门新兴的综合性学科。

三、空间生物学与空间生物技术的研究内容

与空间生理学和医学不同,空间生物学研究更侧重以空间环境为工具,帮助人们更好地理解重力等物理因素对基础生物学过程的影响,研究对象也集中在微小生物体,如细胞、动物、植物和微生物,而空间生理学是以人的整体为出发点,空间医学则是评估长期空间飞行过程对人类带来的问题和危险,并针对这些问题提出解决方案或应对策略。空间生物学的主要研究内容包括理解重力对细胞、动物、植物以及微生物的影响;阐明微重力和其他特殊物理环境(如辐射、昼夜节律变化、亚磁环境等)对生物体的复合效应;利用空间环境拓宽生命科学知识,提高地球上人类的生活品质。

空间生物技术研究主要侧重应用方面,根据美国国家航空航天局(NASA)的分析,当前的主要内容可归纳为几大类,即细胞培养和组织工程技术,大分子的结晶、分离和纯化,以及适用于空间生物实验的特殊方法技术和实验仪器的开发。

第二节 空间生命科学研究的发展历程

在空间科学探索方面,美国和苏联起步较早,因此空间生物学研究也开始于两国。一般认为,空间生物学始于1948年美国Blossom-3火箭将名为Albert的猴子送上天时。随后,苏联在1951—1952年将9只狗发射升空,1957年又将小狗莱依卡发射升空,并使其在轨道上生活了一周时间。

从1948年起到1961年加加林飞天期间,美国共发射了14枚生物火箭,苏联发射了26枚生物火箭,将狗、猴和其他生物发射到100~500 km的高空,在该条件下进行生物学和医学研究。研究在密闭舱和非密闭舱内的生存条件以及生物对辐射、失重和加速度的耐受性。这个阶段的研究目的是了解近似绕地轨道飞行的条件对动物的影响,主要是研究猴子、狗和小鼠机体在空间飞行条件下是否受到损伤;间接了解空间条件对人的影响,判断把人送入太空是否有危险;研究生存条件和保护装置。1957年,载有小狗的人造地球卫星绕地轨道飞行,研究了从发射到入轨,以及长时间轨道飞行对动物的影响,并采用遥测技术监测了动物的生理参数,监视动物的行为和反应,同时,还研究了宇宙辐射的生物学效应,这一阶段的探索性研究为后续载人航天打下了基础。由于证实了人进入空间不会发生意外,这才有1961年的第一次载人飞行。其后有几次搭载猴子和小鼠的亚轨道空间飞行。

前期,由于美国及苏联主要侧重于监测和保护航天员的健康,重力生物学和空间生物学在开始时发展缓慢。重力生物学作为一个新的学科,始于1960年初的生物卫星。1960年美国的发现者7号和苏联的生物卫星2号卫星搭载了细菌和动、植物细胞。紧随其后,又进行了天空实验室等一系列实验。这个阶段的研究受到工程技术手段的限制,且实验缺少有意义的对照。

20世纪60年代后期,通过生物卫星和各种航天器进行多种生物学实验以及医学实验的工作增加,与此同时也在探索延长空间飞行时间和飞往月球的安全性。20世纪70年代初进入空间站建设时代,长期空间飞行成为可能。

1970年后,大量系统的空间生物学实验研究得以开展,旨在探讨航天病的机理以找出相应的防护措施,同时,利用空间的特殊条件揭露生命活动的奥秘,更好地服务于地面人群生活。

1983 年,航天飞机的服役使进行系统和广泛的空间生物学研究成为可能。

我国空间生物学研究起步较晚,最早的记录为 20 世纪 60 年代中期发射的 5 枚生物火箭,搭载其上的生物样品均实现安全返回,并通过对狗、大鼠、小鼠及其他多种生物样品的实验,获得了有价值的资料,为我国的空间生物学研究走出了第一步。20 世纪 80 年代起,我国先后发射了数颗返回式卫星,期间开展了空间蛋白质结晶、空间细胞培养、生物大分子分离纯化和空间生物学效应实验以及空间医学研究,利用空间辐射条件多次搭载农作物种子进行空间育种应用研究,并研制了空间实验装置,多方面开展了生物学效应和生物技术研究。

总体来看,20 世纪 90 年代前的这段时间,各国的空间生物学研究多处于现象观察,资料积累的阶段,深入的理论研究及大规模应用较少。

而 1998 年国际空间站的建立,紧接着我国载人航天任务的开展,为在空间开展长时间、大批量且有人值守的生物学和生物技术研究提供了难得的机遇,也使空间生物学和生物技术的研究迈入新的发展阶段。空间生物学研究,更侧重利用新的生物实验手段,从较微观层面揭示生物体对空间环境的响应机制,比如从细胞或基因层面研究植物的向重力机理,长期空间飞行引起的失重性骨丢失机理,微生物代谢产物变化等。同时,随着空间科学技术商业化热潮的出现,空间生物技术的应用也逐步转向生物技术的基本过程研究,进行相关航天和民用产品的开发等。

第三节 微重力生物效应的一般原理

重力对决定生物形态、行为和生理功能起着十分重要的作用。微重力生物效应是空间生物学研究的重要领域,也是迄今为止在效应机制方面研究较深入的领域。根据大量空间飞行和地基模拟微重力实验,本节对微重力生物学的一些基本概念和相关原理进行总结归纳。

一、微重力生物学现象分析

1. 尺度效应

尺度效应是微重力的实验应该考虑的最主要参数,不同形态大小的个体,同一生物的不同水平,对微重力的响应表现也不同。大型动物其骨骼所占体重的比例越大,所受重力的影响也越大,如人的骨骼占体重的比例是鼠的 2 倍。而小型动物因受表面张力等因素影响比重大,因而受重力的影响小,如更小的生物体如细菌,几乎不受重力影响,主要受环境黏滞性和布朗运动影响。因此,较小的生物在重力高达 $100\sim 300\text{ g}$ 时都不会表现出任何效应。体外培养的哺乳动物单个细胞常能耐受几百倍 g 的超重力,而个体(如大鼠)只能耐受 $2\sim 5$ 倍 g 正常重力而不表现明显的效应。

2. 重力敏感阈值和阈时

阈值(threshold)即临界值,是指释放一个行为反应所需要的最小刺激强度。阈时或称刺激时阈(presentation time)是指由某种强度的刺激引起某种反应时,这种刺激为最短的有效刺激时间。生物体对重力刺激的响应有其敏感阈值和阈时,不同物种,不同部位以及不同组分对重力的响应程度也不同,如在 10^{-4} g 条件下未表现出微重力响应的,在 10^{-6} g 时就可能表现出效应,微弱的微重力效应可能会随时间增加而放大。此外,研究显示,植物细胞相对动物细胞对重力的反应就较“迟钝”。微重力效应往往取决于微重力水平和作用时间的乘积。因此,

在实际的实验设计和分析中,要根据实验目的充分考虑实验对象的敏感阈值和阈时。

生物体不同成分在不同 g 力作用下的耐受性,可用其“失重敏感曲线”来描述。图0-1所示为一个机体的不同成分预期会呈现出的失重敏感曲线。

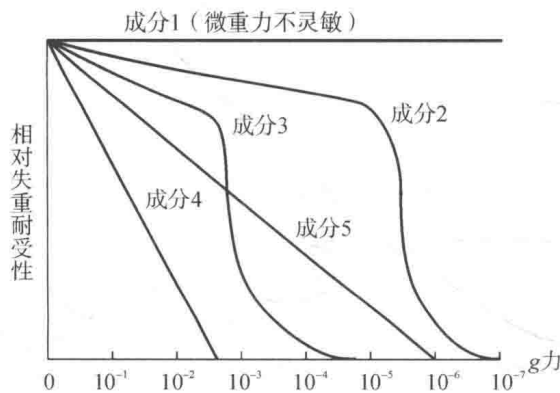


图 0-1 不同成分有不同形状的失重敏感曲线

二、微重力生物学效应分类

微重力作用于生物体的表现不同,按照时间和效应的作用方式可进行以下两种分类。

1. 初始效应和后效应

一般认为,微重力初始作用于生物体时产生的效应是物理效应,然后再是重力感受及生物效应。微重力对于生物体的初始效应多半是微弱的、短暂的,研究中能被观察到的往往是其后的效应。

2. 直接效应和间接效应

直接效应是指生物个体或其某种组分直接对重力做出反应而产生相应生物学现象。大部分高等植物、部分无脊椎动物以及多数脊椎动物,都有特殊的重力感受子或感受器官,能识别重力矢量的改变并且启动响应。如高等植物中的淀粉体,某些无脊椎动物的平衡器,脊椎动物的耳石。微重力的真正直接效应,在 1 g 条件下难以复现,除非在模拟微重力效应(如回转)过程中。

间接效应则指系统并不直接对重力本身做出反应,而是响应微重力条件所引起的局部环境的改变。在低重力环境下,由于重力的减小,浮力驱功的流动减弱、沉降率和流体静压力下降。与重力无关的力,如表面张力,变得更重要,而热传递、对流等则会减弱。

低重力环境中流体动力学的改变对于生物系统的行为有显著影响。如在细胞培养实验中,氧气、营养物质、生长因子和其他分子的向质膜扩散,以及废物及 CO_2 扩散离开细胞,在缺少对流的情况下都会下降,除非对介质进行搅拌或强迫流动。空间飞行时的细胞培养实验发现,细胞的生长速率或葡萄糖利用率会部分降低。在植物个体方面,微重力引起表面张力改变,导致植物根部缺水或使根部受涝而影响通气。同样,叶子表面的气体交换率降低会使光合作用中 CO_2 的利用降低,影响植物的糖类和能量的生产。

三、微重力生物学研究方法

1. 合理的实验设计和分析方法采用

合理的实验设计是研究成功的基础。对于生物体来说,微重力的影响较弱,目前尚未有微

重力会引起生命体产生突变的报道,因此更应注意实验过程中的对照设置和局部控制。同时,空间飞行过程中并非只存在微重力一种环境因素,辐射、磁场的差异、振动以及飞行器上升过程的超重等条件都可能交织一起共同作用,因此,需要通过实验设计和后续的分析方法,尽可能将各因子对生物体的影响独立剖析。在进行地面对照实验时,上述空间特殊环境因素(特别是辐射)都不易控制,因此,在空间飞行器上需要使用能产生1 g对照环境的飞行用离心机。

2. 模式系统选择

合适的模式系统选择,对于微重力生物学研究非常重要。最优的模式系统应该在对重力矢量发生改变时,呈现出明显、无误的生物学效应。目前研究常用的模式系统包括高等植物(向重性),大型动物卵(如两栖类——对受精的旋转响应,禽类——囊胚泡沿重力矢量的极化),以及其他特殊器官系统(如骨骼系统等)。在响应重力刺激时,简单的模式系统可能会很好地代表更复杂的生物体,因此简单的模式系统在微重力生物学研究中也是有用的。

3. 地基模拟实验平台建立

在真实的空间微重力环境下开展实验受到许多限制,如空间飞行成本高、飞行次数少导致实验重复机会少,实验条件不易控制,获取实验数据困难等。地基模拟失重平台的建立,就可以有效克服真实空间实验的限制:①地基实验不受飞行时间和航天员技术能力的限制;②实验条件易于控制,便于收集实验样本;③实验可多次重复;④避免空间飞行实验中航天器起飞和着陆时超重和振动对实验样本的影响;⑤节约实验研究成本。因此,目前常采用地基模拟实验平台来模拟空间微重力环境。地基模拟实验装置主要有落塔、探空火箭、失重飞机、回转器、随机定位仪、大梯度强磁场超导磁体等。

4. 现代生物学实验技术应用

早期微重力生物学研究主要停留在现象发现或以整体响应研究的水平,关于生物体在细胞和分子水平响应的研究开展较少,其中很大一部分原因归结于传统实验方法技术的限制。随着现代分子、细胞生物学等学科的快速发展,新兴的高度集成和高通量实验方法、统计学方法及现代计算机分析技术应运而生。比如针对基因水平研究的基因芯片、高通量测序等手段,为从遗传学角度揭示生物体响应重力刺激过程的作用机理提供了有力支持,也将微重力生物学研究带入了一个全新的阶段。

