

微重力生命科学研究

RESEARCH ON MICROGRAVITATIONAL LIFE SCIENCE

鲁子贤 顾瑞琦

浩瀚深邃的空间一直是人类向往和幻想的圣地,许多美丽的神话是古代人们对空间种种幻想的结晶。哥白尼、伽利略等杰出的天文学家借助望远镜进行的天文研究,使人类对宇宙空间开始了科学的认识。人造卫星发射成功,人类又开始了进入宇宙的长征。载人宇宙飞船、阿波罗登月种种创举,使世界几亿人的目光朝向宇宙、朝向征服太空的征途。要征服宇宙首先要了解宇宙,30年来的空间飞行已经积累了不少知识。当然,对于征服宇宙而言,这些还只是一些零星的碎片。

空间环境和地面有很大不同。首先是地球引力下降。高度越高,重力越小,在数百公里以上的高空,重力已是极微,故称为微重力。空间环境的第二个特点是空气极稀薄,大气压降到十万分之一托以下,已接近绝对真空。第三个特点是太空中存在大量来自银河系和太阳辐射的宇宙线,特别当太阳发生核磁爆时宇宙线辐射极强。由于地面有大气层和地磁场,宇宙线大量被屏蔽,而在空间失去了这一屏蔽。有资料表明,在空间一天与地面一年的辐射剂量相当。在宇宙线中有许多高能重粒子,例如铁原子核等,它们有很强的穿透力,能穿过宇宙飞船的舱壁而进入飞船内部;它们有很强的生物学效应,人类至今还未能在地面模仿。

在地面生存的各种生物是在地面环境中经过几十亿年的进化发展而成的。在这漫长的进化过程中,地面环境几经变迁,物种改变。进化就是生物在适应环境的过程中发生的变异。所以,地球上生物生存的条件与地球的自然条件是高度协调的。地

面与空间的环境真可谓天上、人间,截然不同。在地面生物圈中生存的生物到了空间能继续按照原有的规律生活吗?人类想征服宇宙,在空间开展活动,开辟新的生产领域,尤其是想要向宇宙移民,必须回答这一问题。自人类进入空间始就着手研究各种生物学规律在空间的表现。这类研究活动以苏联和美国开展最早,已取得了大量有价值的研究成果。近年来西欧和日本也都提出了空间生命科学的研究计划。

生物在高真空环境中不能生长。但是在封闭的卫星中,类似地面的气体环境不难模仿。宇航员生活所必需的氧气通常从地面带去或用物理、化学方法产生。研究生物在空间的生长规律首先关心的是微重力。微重力生命科学指的就是这一新的研究领域。其次,由于宇宙线中高能重粒子的很强的生物学效应,常常产生致畸,致突,致癌效应,对于人类长期在宇宙空间生存也是必须解决的问题,因此空间辐射生物学也是重要的研究领域。

微重力环境在地面可以模仿,下表归纳了模拟的几种方法:

表1 地面微重力试验条件

装置	措施	微重力持续时间
1.落管,落塔(5~100米)	真空中自由落体	0.1~10秒
2.失重飞机	抛物线飞行	30秒
3.火箭	回收段	6~7分
4.人造卫星	地球轨道	不限
5.回转器(Clinostat)	重力时高时低,平均为零重力	不限

在这些装置中,前三种方法微重力持续时间都

很短，难以在生命系统中起作用。只有人造卫星、宇宙飞船或空间站能有较长时间的微重力环境，可用来观察微重力对生物的作用。为有效地观察微重力对生命现象的影响，人们希望利用空间站，如苏联“和平号”空间实验室运行了一年以上，目的之一即在于此。

在微重力下有一些变化显著的物理现象。如：1. 对流消失，气-液间的物理交流变得困难，不同密度的相分散可分得更好；2. 没有浮力；3. 没有沉降。可是，在微重力下表面张力的影响大为增加，电磁场影响也增强，分子间作用力所起的作用也更显著。这些是生命现象在微重力下变化的物理因素。

人在微重力环境下的生存是首先提出来的问题，也是研究得最多的问题。从美国和苏联现有的研究结果看，宇航员与载荷员进入空间头几周至一两个月内，最初的变化是出现体液向头方向的流动增加，同时出现空间运动病。后者几乎是所有宇航员都遇到的问题，它严重影响宇航员充分利用有限而宝贵的空间飞行时间从事工作与微重力研究。初步的研究表明，空间运动病主要与前庭器官障碍有关，它表现为头昏目眩，平衡失调，有时还突然呕吐。目前还没有有效的防治方法，有人想引入瑜珈术和气功来训练宇航员的适应能力以克服运动病。人类在空间长期生活后（半年以上）会出现许多问题。人类在地面锻炼了各部位肌肉，并适应 1g 重力的环境。在微重力下，大量骨骼肌活动降低，时间长了会导致这些肌肉的萎缩。从现有的资料看，宇航员在空间生存期超过几个月后就开始出现肌肉萎缩症状。同时，在地面人体需要骨骼来克服重力以支撑人体的站立和运动。失重条件下，骨骼负担减轻，引起组成骨骼的重要成份钙的流失。宇航员生活在空间 10 天，钙就开始丢失，30 天失去 4 克钙，两个月丢失 14 克，三个月丢失 25 克。地面上长期卧床的人也有肌肉萎缩和骨钙丢失的现象。失重时，血液循环不需要克服重力，因此心肌的负担减轻，功能也随之而衰退。由于肌肉萎缩和骨钙丢失，骨质变松，所以运动能力大大降低。当宇航员返回地球时运动能力明显受阻，有时根本不能走动，需要较长时间才能恢复。此外宇航员的内分泌功能和免疫功能均有所下降，血液中红血球数减少。由于宇航员长期离群索居，也产生了一些心理问题，如宇航员常产生的特殊的“饥饿”感觉就是心理异常的反应。总之，长期空间飞行对宇航员会产生许多不利的作用，宇航员返回地面后需要有长时

间的再适应过程。苏联在卫星舱中采用了许多技术措施，希望解决宇航员较长期在微重力下生活的问题。苏联宇航员尤里·罗曼年科在空间生活了 326 天，返回地面时自己步出了卫星舱。空间科学家展望和分析了开辟新天疆的可能性和必要性，认为随着空间某些新产业的建立，将来会有建立太空村的必要。目前美、苏都在研究载人飞往火星的计划，这些都必须解决人在失重环境下长期生活的问题。

生物体内各种变化都有 24 小时昼夜节律，这是在地球环境中经多少亿年强迫适应的结果。随着交通手段的改善，人们对时差的适应有重要的军事和非军事意义，是一个十分重要的课题。人造卫星的节律是另一种表现形式。许多人造卫星都是一、二个小时昼夜变换一次。人在这种环境中的生活节律与地面完全不同。从有些报道看，生活节律只靠照明光的明暗变化以模拟昼夜变化还不能全部解决问题，目前正用昆虫对空间节律进行研究，这一课题对时差适应的研究也可以起很大的作用。

美国曾详细测定了几十种动物器官在微重力条件下各种生化指标的变化。从现有的报道看，生化指标的变化并不明显。进一步的比较仍在继续之中。

除了研究人体外，人类渴望了解一系列生物学规律在微重力条件下的表现。

微重力下高等植物的反应是研究的热门课题之一。一方面由于植物本身的重要性，另一方面还由于将来人类大规模向太空移民时它在封闭的人制造的生活环境—生物圈 II 中有重要作用。

在地面，植物生长有明显的向地性，根的向地性是由根冠中的造淀粉粒感受重力，向内质网膜下沉引起钙和激素在细胞内的不均匀分布，这种不均匀分布就使根朝向有重心引力的方向生长，即向地性。切去根冠就失去向地反应。用氯丙嗪（钙调蛋白的抑制剂）处理根尖，也会失去向地性反应。在空间微重力环境下，根的生长失去方向，随机地向各方向生长。人们对植物在空间飞行条件下的生长发育研究得很多。就生长而言，有些植物生长受抑，另一些则有所促进。许多实验表明植物在空间的生殖生长受抑，表现为不能开花结实。此外，在空间，植物细胞分裂变慢。在空间，向日葵的头部依旧以 24 小时的节奏摆动。在空间，植物细胞出现许多染色体畸变，如微核、染色体桥和染色体断片，还出现一些地面上诱变处理所未见到的变异类型，如叶片上有很宽白色条纹的玉米。这些变异初步认为是微重力和宇宙线辐射共同作用下的结

果。

为了在空间建立生物圈Ⅱ以供人类长期生存，必须要有植物的生长，但目前只有拟南芥菜这一种植物能在空间完成种子—植株—种子的生活周期。而生物圈Ⅱ的建立必须要有更多的植物能在空间完成这一周期，才有可能选出合适的体系，组成生物圈所需的循环。

人类要在空间长期停留，甚至要向太空移民，单靠从地面带去人类生活必需的氧气、食品，并将排泄的废物带回地面，是非常困难的。有人设想用人与动物、植物和微生物建立“受控生态系统”，即用植物吸收二氧化碳，供应氧和食物，用微生物处理人排出的废物，分解后给植物作肥料。只有建立起这样一个生物圈Ⅱ，人类才有可能在宇宙“安家”。目前美国已在亚利桑那州建立了一个这种模式的试验基地，计划进行全面的研究。

空间各种宇宙射线中有些射线的性质与地面很不一样。太阳耀斑突发的重粒子和银河系来的重粒子，不是人造卫星防护层所能阻挡的。空间辐射生物学的两个热点是：对宇宙线的防护；利用这些射线来诱变只有在空间才能产生的各种生物突变材料，以培育新的作物和微生物菌种。这些是近年来开始受到重视的一个方面。

微重力下微生物如大肠杆菌和枯草杆菌的生长速度比在地面快半个数量级。大肠杆菌对抗菌素的抵抗力增加，其基因转移要比地面加快3~4倍。枯草杆菌形成孢子变慢。衣藻和草履虫的增殖速度加速4倍。还观察到霉菌的原生质流动速度加快，有大量的结果与此相似。

有些昆虫的生长发育在微重力下有各种变化，如果蝇的发育变慢，不正常幼虫比率增高，对辐射的敏感性也提高，七天微重力作用可使雄果蝇的寿命缩短1/3。

用X-射线衍射法测定蛋白质的立体结构，是分子生物学的重要研究课题，在蛋白质分子设计中能提供许多重要的数据。测定立体结构的方法首先要求有足够大的蛋白质单晶，这是目前地面研究工作中最不易把握的环节。微重力条件下干扰蛋白质单晶长大的因素，如结晶母液的对流、晶核的附壁等基本消失，对晶体长大有利。美国科学家已利用航天飞机在空间成功地生长了几个蛋白质单晶，如

β -半乳糖苷酶、刀豆球蛋白等，并正在对其中个别的单晶测定它的立体结构。这是空间基础生物学的重要成就。当然在空间对蛋白质晶体生长也有不利的一面，如发射与返回时的振动，以及瞬时高重力等。

近代生物学研究最诱人之处在其快速转向应用领域，生物技术的发展即是最好例证。与此相似，不少人从空间生命科学的发展论述了建立空间产业的前景。美国和苏联及其他有关国家的经济学家及企业界人士对此讨论得非常热烈，乐观的估计认为空间制药工业是大有希望的产业，鼓吹的热点集中在一些与生物技术紧密相关的课题及生物内源性药物的纯化技术，如微生物工程和细胞工程在空间会有特异的表现形式。有不少蛋白质（包括酶）及多肽等生物体本身内含有的物质有特殊的药效，对它们在空间的分离纯化已进行了大量的探索研究。利用微重力下液体对流基本消失这一特性，设计成功了自由相连续流动电泳仪，据说有很好的纯化效果。美国由于有航天飞机的条件，已开始利用连续电泳仪制备高纯酶的商业性生产尝试，还提出了有潜力作候补产品的目录单。如何评价空间药物生产和研究的近期经济效益还有分歧，但它美好的远景几乎是所有从事这一领域研究的人一致肯定的。

为了空间实验及试生产的方便，苏联和美国已开始筹备和建立空间实验室及空间站。作为一种长期存在的空间工作环境，苏联的“联盟号”和“和平号”空间站、美国的空间实验室和“阿波罗”系列飞船都已进行了许多有意义的工作。这对微重力生命科学的发展将有重要的作用。

我国近年来航天事业发展迅速，已经利用返回卫星进行了初步的科学研究。在当前国际航天事业迅速发展的背景下，我们有可能，也有必要开展微重力生命科学、空间生物技术及空间制药的研究，以便在国际合作与竞争中争得应有的一席之地，在开辟天疆与开展空间新兴产业中作出中华民族应有的贡献。

本文作者鲁子贤 (Lu Zixian) 系中国科学院上海生物化学研究所研究人员。

顾瑞琦 (Gu Ruiqi) 系中国科学院上海植物生理研究所研究人员。