

空间生物学的地面模拟技术进展

仓怀兴

中国科学院生物物理研究所,北京 100101

摘要 空间生命科学研究日益重要,但是由于受到稀少空间实验机会和高昂实验成本等条件制约,目前对空间环境的地面模拟技术要求更加迫切。在较系统地分析现有微重力环境模拟技术的技术特点和适用范围的基础上,结合未来多因素耦合研究的发展趋势,提出了采用激光光阱技术模拟微重力环境的建议。激光光阱操纵生物细胞的非接触性、光穿透性和定位性有助于获得较好的模拟效果。激光光阱技术与单细胞定点单离子辐射技术良好的相容性和互补性有助于开展微重力与辐射的耦合影响研究。

关键词 微重力;生物学效应;空间环境模拟;激光光阱

中图分类号 Q693

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.20.013

Progress of Technologies Stimulating Space Environment for Biology Study

CANG Huaixing

Institute of Biophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract The study of space biology becomes significant and requires the advanced technologies for stimulating space environment considering the rare opportunity and the high costs of space experiments. In this article, the characteristics and applications of the existing technologies for stimulating the microgravity environment are systematically analyzed. Based on the research tendency of the coupling effects of multi-factors, laser trap is proposed to be the next generation technology for the simulation. This technology has the great advantages for manipulating cells without contact, manipulating intra-cell particles and fixing cell position, which is valuable for producing the good simulation effect. The well compatibility and complementation between the technologies of laser trap and the single ion radiation will be very useful for the study of coupling effects of the microgravity and radiation.

Keywords microgravity; biological effect; space environment simulation; laser trap

0 引言

地球生命对重力的响应,经过数亿年的进化与适应,已经成为其内禀的、基本的、“无意识”的行为。物种的变异与进化不断由遗传物质以基因编码的形式固定下来。

然而情况正在发生改变。曾经可望而不可及的浩瀚太空,在迎来送往一批又一批地球生命的同时,也用其特有微重力、辐射、真空等手段给生命悄悄留下了太空的印迹^[1-3],它在给人们带来惊喜的同时也带来了伤痛。

那么,怎样才能破解这些“太空印迹”的奥秘并消除其有害作用呢?科学家们一方面充分利用各种航天飞行器,设计精巧的实验在太空环境中研究空间特有环境因素对生命及其活动过程的影响^[4-5]。另一方面,试图在地面上模拟空间的

环境并在其中开展更加系统和深入的规律研究^[6]。其中,微重力环境的模拟是大多数人认为比较容易的一件事,如下降的电梯和飞机。

但是人们再次犯了“轻敌”和“先验性”的错误。貌似简单的问题往往隐含着基本的、重大的科学问题,如“重力是怎样产生的”、“质量是什么”、“什么是时间”等,竟然都是高能物理、粒子物理、量子力学、宇宙演化等基础科学研究领域当前所面临的最重大的问题^[7,8]。

鉴于以上原因,本文基于重力的定义,较系统地分析可用于模拟微重力环境的技术手段及其特点,并展望它们在空间生命科学研究领域的应用,以期为中国空间生命科学的发展提供有益参考。

收稿日期:2013-03-28;修回日期:2013-04-30

作者简介:仓怀兴(中国科协所属全国协会个人会员登记号:S091000045M,S250102324M),研究员,研究方向为空间生物技术,电子邮箱:hxcang@ibp.ac.cn

1 重力与微重力

事实上,重力不是一种独立的、基本的力,它是物体所受万有引力等力的合力,或者说是一种力的平衡状态。目前,公认的基本力只有强核力、弱核力、电磁力和万有引力4种。而规范场理论已经把前3种力统一起来^[8],只有万有引力的产生机制尚无定论。

1.1 重力

按照全国科学技术名词审定委员会给出的测绘学定义^[9],重力是单位质点受地球及其他天体的引力和地球自转所产生的惯性离心力的合力。

国家标准《力学的量和单位》(GB 3102.3—1993)给出了重量的定义^[10],并在备注中引伸出了重力的定义,二者合并起来是“物体在特定参考系中的重量为使该物体在此参考系中获得其加速度等于当地自由落体加速度时的力。当此参考系为地球时,此量常称为物体所在地的重力”。

《大英百科全书》网络版给出的重力的物理定义^[11]是: Gravity, also called gravitation, in mechanics, the universal force of attraction acting between all matter. It is by far the weakest known force in nature and thus plays no role in determining the internal properties of everyday matter. On the other hand, through its long reach and universal action, it controls the trajectories of bodies in the solar system and elsewhere in the universe and the structures and evolution of stars, galaxies, and the whole cosmos.

应该说,这3个不同来源的定义是一致的,其本质是引力的合力。重力可以用图1给予形象的说明。地球位于太阳系中,地球表面物体必然受到太阳和其他7大行星的引力作用,也受到地球的卫星——月球的吸引。较之太阳和月球,地球受其他7大行星的引力可以忽略,所以图1只给出物体受太阳、地球、月球吸引以及物体围绕地球转动所受惯性离心力的情况,这些力的合力就是重力。如果用 \mathbf{G} 表示重力, \mathbf{F}_E 、 \mathbf{F}_S 、 \mathbf{F}_M 、 \mathbf{F}_C 分别表示地球引力、太阳引力、月亮引力和围绕地球转动的离心力,那么

$$\mathbf{G} = \mathbf{F}_E + \mathbf{F}_S + \mathbf{F}_M + \mathbf{F}_C \quad (1)$$

公式中的字母为黑斜体表示为矢量和。显然,重力的大小和方向与物体相对于地球的位置和运动状态,以及地球相对于太阳和月球的位置都有关系,并不一定指向地心。图1中的 P_1 、 P_2 、 P_3 代表3个不同的位置。

大英百科全书定义的言外之意是,如果脱离宏观水平和微观水平,在原子水平上谈论重力没有任何意义,那是强核力和弱核力的世界。如果必须划出一个考虑或忽略重力的尺度界限,可能用布朗运动(Brownian运动)理论比较合适。布朗运动又称分子热运动理论,通常认为其有效临界尺寸是在亚微米量级^[12],更大粒子受重力引起沉降的影响不再服从随机布朗运动理论。有意思的是,动植物的细胞尺度大致在几微米到几十微米,刚好处于不能再忽视重力影响的边缘地带。

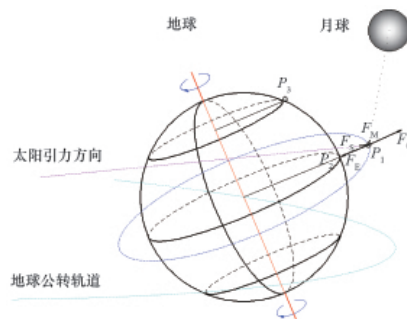


图1 物体所受重力成分示意图

Fig. 1 Sketch map of the components of gravity force exerting on an object

1.2 微重力

依据上述分析可知,重力是合力,而且不同相对位置重力大小不同。那么在什么情况下,物体的重力处于毫微量级呢?或者说物体处于微重力环境呢?

通常,科学家是用重力加速度来区分物体是否处于微重力状态。在地球零海拔的地表,重力加速度 g 为 9.81m/s^2 ,称物体处于 $1g$ 的正常重力状态;如果重力加速度介于 $1\sim 10^{-3}g$ 之间,称为低重力状态;重力加速度小于 $10^{-3}g$,则称为微重力状态。

物体在地球近地轨道(如图1所示位置 P_1)飞行时,如果所受引力的合力与惯性离心力相平衡,物体处于微重力状态。这正是卫星、飞船、空间站所处的微重力环境,暂且称之为第一种微重力状态。

由于惯性离心力不是真实的力,而是为了便于理解而虚拟出来的,所以有人可能认为用惯性离心力解释不够严谨。从重力的国标定义可引出更好的解释:如果物体所受引力全部贡献于运动加速度,则该物体(所有质点)处于微(零)重力状态。由此又认识到第二种微重力状态:没有空气阻力的自由落体运动,物体的下落加速度为 $1g$,引力全部用于下落物体的加速。

关于第一种微重力状态,由于引入了惯性离心力的概念而变得易于理解。而对于第二种微重力状态,难以定义形象的惯性力,结合图2解释可能更贴切。

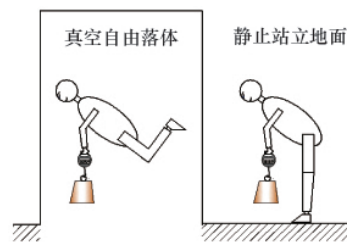


图2 第二种微重力状态示意图

Fig. 2 Sketch map of the second microgravity condition

注:真空自由落体状态下拉力计显示物体重量为零,静止站立时显示通常的重量。

Notes: The object falling down freely in vacuum shows zero weight. It shows normal weight in the air at rest.

1.3 重力、压力和拉力

物体在地面静止时的受力状态如何,关系到在地面模拟微重力环境或微重力效应的技术选择问题,所以还需对地面静止物体的受力情况作必要的分析。

图3所示为3个同样物体处于不同放置状态时的受力情况。如果单个物体的重力为 G 、拉力为 P 、压力(支撑力)为 N ,则在量值上有 $N=P=G$ 。

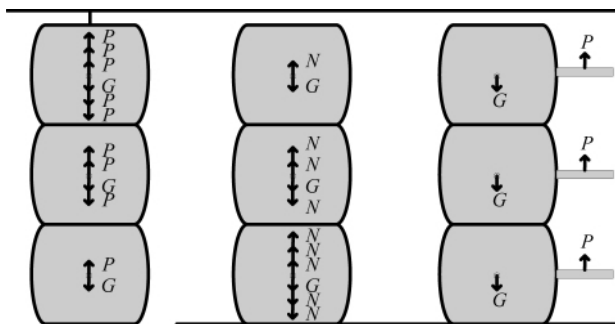


图3 地面静止物体受力状态示意图

Fig. 3 Sketch map of forces exerting on a still object

注:3个相同物体分别处于悬挂(左)、堆叠(中)和托举(右)状态。

Notes: Three same objects are hung up (left), stacked one upon another (middle), or supported from under.

在悬挂状态下,物体受力由下向上是线性增加的,且为拉力。

在堆叠状态下,物体受力由下向上是线性减小的,且为压力。

在托举状态下,3个物体的受力是恒定和最小的,通常为压力。

事实上,每个物体还可以细分至细胞大小,或者将图3中的物体看做是细胞。如此一来,无论是悬挂状态还是堆叠状态,两端细胞(物质单元)所受的拉力或压力将会相差几个数量级。

不妨将图3所示的受力状态用于分析人体细胞的受力情况。假定一人身高1800mm,体重80kg,单个脚底近似为长和宽分别为 $L=300\text{mm}$ 和 $W=150\text{mm}$ 的长方形,每个细胞为棱长 $A=0.05\text{mm}$ 的正方体,人体密度为 $\rho=1\text{g/cm}^3$,在上下细胞之间完全承受压力。

保守计算:脚底最外层细胞共同承担80kg体重,则脚底最外层单个细胞承受的压力 N_i 可近似为

$$N_i = G / (2LW) / A^2 \quad (2)$$

即每个细胞承压2.22mg。这个数值似乎很小,如果换算为压强 P ,则为 889mg/mm^2 ,或者 889kg/m^2 。

最大化计算:认为细胞自上而下堆叠,则1800mm身高对应36000层细胞,由图3可知,最底层细胞所受垂直单向挤压力是最顶层细胞的36000倍,或者说单个细胞重量($1.25 \times 10^{-4}\text{mg}$)的36000倍,即单个细胞承受4.5mg的垂直单向挤压

力,大约高出保守计算的1倍,但处于同一量级。当然,人体骨骼系统的存在会改变这种压力分布。

人类生长发育有一个有趣的现象:少年儿童总是脚最先长大到位,其次是腿,之后是躯干,最后是大脑(指外观尺寸)。这是否与人体的压力分布密切相关呢?

当然,现实世界中物体/生物体自然的受力情况并不是这么简单和理想化,可能既有拉力又有压力,也有各自独立受力而互不影响的情况。

2 微重力环境模拟方法及其技术实现

中国载人航天技术的飞速发展有效地带动了中国空间生命科学与生物技术的发展。然而,可用于科学研究的空间飞行机会毕竟十分稀少而且成本高昂。因此,在地面模拟空间环境因素并开展相关研究或预先研究是非常必要的。

前面关于重力与微重力的分析为我们在地面制造或模拟微重力(低重力)环境抑或模拟微重力效应提供了必要的理论知识。

2.1 制造真实微重力环境

按照前面“如果物体所受引力全部贡献于运动加速度,则该物体(所有质点)处于微(零)重力状态”的说法,在地面及其附近制造微重力环境是可行的。主要方法有以下3种^[1]:

(1) 落塔/管内抽真空后,在内部做自由落体的物体就处于很好的微重力状态。

(2) 探空火箭的减速上升段和加速下降段也可以制造出较好的微重力环境。

(3) 飞机的抛物线飞行只能制造低重力环境,尚达不到微重力水平。

遗憾的是,由于这些微重力状态持续的时间相对较短^[1,13](落塔~5s,抛物线飞行~20s,探空火箭~7min),难以用于开展生命科学方面的实验研究。

2.2 模拟微重力环境

所谓模拟微重力环境,这里是指采用物理场技术模拟微重力环境的部分特性,如抑制自然对流、消除沉降、实现无器壁接触等。到目前为止,已用于模拟微重力环境的技术有电磁悬浮、抗磁悬浮、电场悬浮、声场悬浮、液体悬浮、凝胶固定等^[14-19]。无一例外,这些技术最大的优点是可以实现无容器(无器壁接触)。此外,它们各有特点。

(1) 电磁悬浮:高频电流流过线圈,电流与外磁场相互作用而导致金属样品产生一个洛伦兹力,当该电磁力的方向与重力相反且大小相等时实现电磁悬浮。金属样品表面存在强烈涡流,并伴随热效应^[14]。

(2) 静电场悬浮:带电粒子在电场中受到电极的吸引或排斥作用,当电场力与粒子重力相平衡时粒子被悬起。可以理解,粒子在均匀电场中的悬浮是不稳定的^[15,16],而梯度电场实现难度较大。

(3) 抗磁悬浮:抗磁性物质在梯度磁场中受到反向的力,

源于磁场改变了原子中电子的运动^[7]。

(4) 超声悬浮: 超声驻波在一定条件下形成梯度声场(声压势阱, 位于波节处), 可以将一定重量和大小的物体悬起^[8]。声场给予悬浮物体压力, 并且使物体内分子持续震动。

(5) 液体悬浮: 当颗粒比重小于悬浮液时将被悬浮起来^[9]。

(6) 凝胶固定: 其本质是凝胶网状空间结构(图4)将液体束缚^[20], 从而抑制液体的流动性以及微小颗粒的重力沉降。

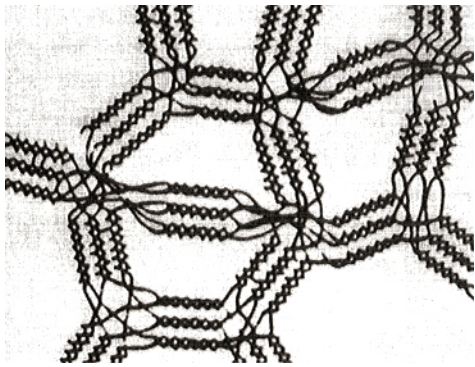


图4 琼脂糖凝胶的网络结构

Fig. 4 Molecular networks of agarose gel

2.3 模拟微重力效应

前面用物理场模拟微重力环境的部分特性, 严格地讲也可以认为是微重力效应的模拟。但是一般意义的“微重力效应模拟”通常是指研究对象对模拟手段的响应类似于对微重力的响应, 但二者之间并没有确切的因果对应关系。

微重力效应模拟的典型方法是利用旋转运动不断改变研究对象相对于重力的方向, 可以形象地比喻为研究对象“来不及感知重力的方向”或“来不及对重力方向的改变做出响应”, 或者说“晕头转向”了。

微重力效应模拟对应的仪器技术是回转器^[3,21], 有一维回转器、二维回转器和三维回转器; 旋转可以有规律的, 也可以是随机的。

2.4 虚拟微重力环境

更进一步, 可以使用理论方法构建虚拟的微重力环境, 看不见也摸不着。研究表明, 空间的微重力环境往往是通过改变系统的热量、质量和动量传输的影响而改变系统变化的动力学过程。如此一来, 可以对现有的传输理论模型进行改造^[2], 将其中的重力加速度赋予不同的量值或者看作变量, 之后运用电子计算机强大的运算和模拟能力开展“虚拟实验”^[23]。

3 模拟技术应用分析

模拟或制造微重力环境的不同技术有着不同的特点或局限性, 因而适用于不同的研究对象。一个基本的选用原则应该是: 尽量不要引入额外因素影响实验对象, 万不得已时额外因素的影响应能被解耦。业已开展的很多空间科学研究实验是空间多因素作用的结果, 但是大多数由于解耦困难而

归结于某个单一因素。

3.1 现有模拟技术

上述现有模拟(或制造)微重力的技术都是有针对性地开发的, 用于特定的研究对象将获得相对正确和有益的知识, 而不恰当的“推广”适用则会获得不正确的结论。

(1) 落塔/管与抛物线飞行。

对于真实的微/低重力环境来说, 其本身不会“误导”科学家而被错误使用。制约其应用的最重要因素是微重力状态所持续的时间; 落塔/管数秒钟的微重力时间对于没有生命的金属材料的研究也需要仔细的设计; 探空火箭数分钟的时间对于空间材料科学非常有用, 但对于生命对象还是太短, 更大的问题是基本一次性使用的特点使得研究成本很高; 抛物线飞行制造的是低重力环境, 持续时间接近 20s, 且低重力环境与超重重力环境交替出现, 使人不得不担心实验结果的可靠性。

(2) 物理场悬浮技术。

① 显然, 电磁悬浮是金属材料研究的专属技术。

② 静电悬浮原则上可用于所有带电的实验对象, 但是出于一些实际考虑, 该方法用于金属材料研究可能更合适。

③ 抗磁悬浮技术单就微重力而言适用性是广泛的, 从无机材料到有机材料, 也可以是微观的细胞组织或宏观的生物个体等生物材料。用于生物对象的问题是, 高于地磁场数十万倍的磁场强度对生物对象的影响可能需要长时间的、甚至是隔代的研究, 简单地讲就是强磁场影响的解耦问题。

④ 超声悬浮用于材料科学研究具有很多优点, 用于生物研究需要慎重考虑, 因为超声能够破碎细胞和微生物, 对于具有外骨骼的昆虫也许负面影响会小一些。

⑤ 液体悬浮是一种温和的悬浮技术, 用于晶体生长和部分细胞组织的研究是合适的。但是悬浮液的存在限制了实验需要的调节控制技术的使用。另外, 被悬浮物的表面承受浮力的挤压, 这是额外的影响因素。

⑥ 凝胶固定技术通常被用于溶液晶体生长, 它可以很好地抑制自然对流和微小颗粒沉降。已知的副作用是凝胶的引入会促进或抑制晶核数目及其生长速度。

(3) 回转器类。

回转器类模拟的是微重力效应^[3], 众多的研究表明, 植物对象适于采用该技术, 重力作用方向的改变足够快时, 植物来不及响应。细胞与组织在回转器内的受力非常复杂, 使得本身就处于感受重力影响极限边缘的细胞受到回转器流场本身的影响可能远远大于重力的影响。而中空毛细管式回转器则可能比较适合于细胞类研究对象^[24]。

(4) 虚拟模拟技术。

虚拟模拟技术没有任何副作用, 计算机技术的发展使得该技术越来越有效而且成本低, 不受时间和空间制约, 但当系统未知因素太多时, 虚拟技术因难以构建科学和量化的数学物理模型而使其应用受限。此外, 微重力的间接生物学效

应因为效应本身尚处于黑箱状态,使得使用虚拟模拟技术面临难以逾越的困难。

关于鼠尾吊模拟技术,实质上是将鼠体内部分细胞间的

压力转变为了拉力(图3),而且改变了强度分布,也不失为一种改变重力影响方式的部分模拟手段。

为便于比较选择,将各种模拟技术及其特点汇总于表1^[1-13]。

表1 微重力(环境)模拟技术及其指标特点

Table 1 Microgravity (environment) simulation technologies and their characteristics & indices

序号	模拟技术名称	微重力水平和持续时间	模拟成本	优点/不足	适用性
1	落塔/管	$\sim 10^{-6}g, \sim 5s$	高	真正微重力/持续时间太短	材料科学金属材料
2	探空火箭	$\sim 10^{-6}g, \sim 7min$	高	真正微重力/时间短/成本高	材料为主,生物应激
3	抛物线飞行	$\sim 10^{-3}g, \sim 20s$	低	灵活,机会多/低重力,时间短	材料为主,生物细胞
4	电磁悬浮	模拟,不限	低	大体积,长时间/搅拌,热效应	金属材料
5	静电场悬浮	模拟,不限	低	体积小,易实施/分子极化取向	带电颗粒,生物
6	抗磁性悬浮	模拟,不限	较高	所有质点悬浮/磁场长短期影响	抗磁性物质,生物
7	超声波悬浮	模拟,不限	低	易于实施和调控/对生物损伤不清	材料科学昆虫个体
8	液体悬浮	模拟,不限	低	温和,简单/仅作用于表面	晶体生长细胞组织
9	凝胶悬浮	模拟,不限	低	实现无容器无对流/温度变化	溶液体系常温范围
10	虚拟模拟	$0\sim 1g$,不限	低	不受限制,灵活/复杂体系难建模	体系传输分析计算
11	回转器	模拟,不限	较低	植物栽培原位态/间接效应模拟	生物植株卵发育
12	光阱悬浮	模拟,不限	较低	单细胞悬浮操纵/悬浮力不够均匀	细胞,微生物,藻

3.2 新的模拟技术

以上模拟技术已经诞生和使用了数十年,它们的优点和不足已经基本清楚(表1),其中关于单细胞水平的微重力模拟技术尤其缺乏。鉴于空间实验受到空间多因素耦合作用,地面模拟技术需要考虑多因素耦合的复杂情况。此外,研究的精确和定量是发展的不变趋势。因此,如何建立新的和更有效的模拟技术,或者在现有的技术基础上进行升级改造是空间生命科学研究面临的一个基本技术问题。激光全息光阱技术也许是值得期待的新的模拟技术,对于研究空间细胞生物学中的微重力及其与辐射的耦合影响有自身优势。

光阱技术,更科学的称谓应该是梯度光场捕获技术,或者简称为光捕获技术。该技术源于光对所照射物体具有压力的物理现象,也就是光的动量特性,已诞生近30a^[25],虽然至今尚未被明确地用于在地面模拟微重力环境,但是已经广泛应用于生命科学研究中,特别是细胞生物学研究。

如图5所示,一束平行激光竖直穿过凸透镜后,在焦平面处汇聚为一点,之后又发散开。在焦点下部放置一枚细胞,则细胞受到光子向上的撞击而交换动量,也就是使细胞受到指向焦点的提拉力而被悬浮起来。如果从原子水平解释,则是光照射到粒子上,使粒子中的每个原子都产生一感生电偶极矩,原子的电偶极矩与光场相互作用产生一指向光强最大处的偶极力,整体上表现为指向激光焦点处的束缚力。当束缚在光阱中的粒子处于平衡位置时,粒子中每个原子受到的偶极子在竖直方向与重力及辐射压力平衡,这就抵消了重力场的作用。

光阱最大的优点是光压作用在任何微小的物质上,可以根据物质所受重力“量体裁衣”。此优点用于细胞研究带来另一重要优点^[26,27]:由于单个生物细胞对光透明性良好,光可以

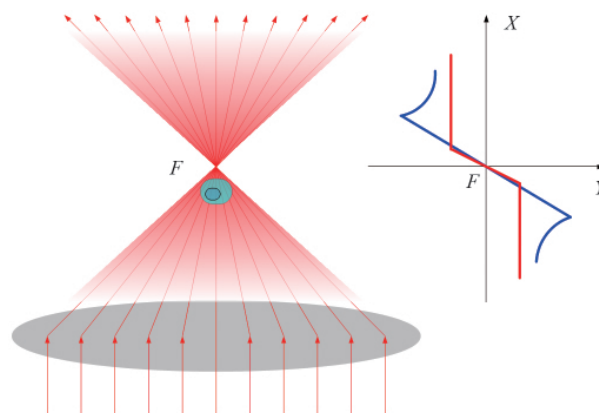


图5 光阱原理示意图

Fig. 5 Schematic diagram of laser trap principle

注:图中F为焦点,焦点下椭圆代表细胞;右图为对应光压强度分布示意图,X轴为距离,Y轴为光压,正值表示光压方向与光传播方向一致,蓝色曲线为一般光压强度,红色折线为理想需求。

Notes: F denotes the light focus, two ovals denote a cell in the left. The right curves show the intensity distribution of the light pressure (blue curve: General distribution; red curve: Desired distribution), in which X and Y denote distance and intensity respectively.

穿透细胞使细胞内的细胞器也单独受力,而不仅仅是细胞表面,所以受力状态接近图3的托举模式,即相邻细胞器相互之间不产生拉/压力的无内应力状态。如此可以细分至重力影响可以忽略的尺寸。因此综合而言,光阱技术是适合于模拟微重力环境的。

此处,有人会产生以下疑问:细胞会不会受光的损伤?生物体内细胞一生都是不见光的,光的影响是否是不可预知

的? 光阱诞生了几十年别人为什么没有用来模拟微重力? 细胞被悬起来不能贴壁,是不是影响其存活? 细胞外的液体环境仍然会有对流是否不符合微重力环境特征?

也许问题还会更多。那么激光全息光阱技术到底适不适合模拟微重力环境呢?

第一和第二个问题并不形成障碍。激光光阱的光源波长可选,通常在 800~1000nm 波长范围,生物体对光的吸收很小,大部分光穿透生物样品继续传播,少部分转化为热量。所以只要热量被及时传出,不会产生伤害。同时,生物体内的细胞虽然不被可见光照射,但太阳光谱中的红外光具有很强的穿透性,生物体内细胞实际上一直处于照射状态。此外,生物体自身还向外发射 9~10 μm 波长的红外光。

第三个问题要辩证理解。一方面,在微重力模拟需求并不迫切时,人们不太关注新的技术。另一方面,光阱技术本身也有一个被认识和发展的过程,激光技术和计算机技术有效地促进了该技术的发展。同时,光镊技术适合于细胞水平研究,但需要突破光学衍射极限的检测分辨率,而后者最近几年刚刚取得实质性突破。

第四个问题是认识角度的差异。对大多数细胞而言,在培养生长时贴伏在容器壁面上,而真实的微重力环境倾向阻止细胞贴壁生长。因此,光阱使细胞与器壁脱离接触在某种程度上是模拟微重力环境的需要。

第五个问题是需要认真对待的技术问题。尽管理论上梯度光场的压力作用于其内的任何微小颗粒,但是如果光阱的有效光场仅仅覆盖了细胞本身,那么细胞外的液体由于温度或浓度的不均匀确实会产生自然对流。幸运的是,可以通过技术手段对光场进行“整形”以满足研究需求,也可以对细胞周围的液体环境进行调控,抑制对流的产生。

事实上,大连理工大学的韩雪用 40 \times 物镜在轴向(重力方向)单个光阱中同时悬浮起 3 个酵母细胞^[20],这是对酵母菌/细胞透明性的间接说明。中国科学院西安光学精密机械研究所建立了集光阱操纵、光刀切割和显微光谱测量多功能的光学微操作平台,并成功实施了生物细胞/细菌实验。新的激光全息光阱技术可以同时悬浮多个细胞/粒子并可独立调节^[20],不必中断实验即可研究不同对象。

此外,细胞定点单离子辐射实验技术是在地面研究空间辐射影响的有效手段^[20],但是在细胞的选取与固定以及靶点选择等环节上存在困难,而激光光阱技术在这些方面恰好是用其所长。作为微重力和辐射两种模拟技术,在整合时具有优势互补的特点是难能可贵的。

构建激光全息光阱-单离子定点辐射耦合技术平台,除研究微重力-辐射耦合效应外,还可以开展细胞社会学效应、细胞信号转导等更系统的生物学层次的复杂研究。

4 总结与展望

分析发现,在地面制造或模拟微重力环境并没有理想的

技术手段,这也是关键实验必须在空间实施的原因;而空间实验的成本、机会和资源量(质量、体积、功耗等)以及多因素耦合严重制约了空间实验研究的频率、深度、复杂性和可控制性。综合而言,地面模拟技术可以作为空间稀少机会和高昂成本的有效补充。

随着相关研究结果的积累和地面模拟技术的发展,人们将能够建立更加科学和完善的空间环境地面模拟设施,包括微重力模拟,不仅用于空间实验的预研和对照,而且成为独立和完整开展空间生命科学实验的有效条件。

参考文献 (References)

- [1] 瓦尔特 H U. 空间流体科学与空间材料科学[M]. 葛培文,王景涛,陈万春,等,译. 北京:中国科学技术出版社,1991: 1-16.
Walter H U. Fluid sciences and materials sciences in space[M]. Ge Peiwen, Wang Jingtao, Chen Wanchun, et al, trans. Beijing: China Science and Technology Press, 1991: 1-16.
- [2] 孙喜庆,姜世忠. 空间医学与生物学研究[M]. 西安:第四军医大学出版社,2010.
Sun Xiqing, Jiang Shizhong. Research in space medicine and biology[M]. Xi'an: Fourth Military Medical University Press, 2010.
- [3] 江丕栋. 空间生物学[M]. 青岛:青岛出版社,2000.
Jiang Pidong. Space biology[M]. Qingdao: Qingdao Press, 2000.
- [4] Littke W, John C. Protein single crystal growth under microgravity[J]. Science, 1984, 225: 203-204.
- [5] 江丕栋,朱治平. 小狗飞天记—中国生物火箭实验纪实[M]. 北京:科学出版社,2008.
Jiang Pidong, Zhu Zhiping. Notes of dog flying—Records of Chinese bio-rocket experiments[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [6] Hu W R. Advances in microgravity sciences [M]. Kerala: Transworld Research Network, 2009.
- [7] Evans R. Strong signs Higgs Boson has been found: CERN [N/OL]. (2013-03-14)[2013-03-18]. <http://www.reuters.com/article/2013/03/14/us-science-higgs-idUSBRE9270XW20130314>.
- [8] 关立言. 规范论——现代物理学的第三大支柱[J]. 开封大学学报, 1995, 10(1): 59-63.
Guan Liyan. Journal of Kaifeng University, 1995, 10(1): 59-63.
- [9] 全国科学技术名词审定委员会. 测绘学名词 (三)[J]. 中国科技术语, 2010, 12(3): 58-60.
China National Committee for Terms in Sciences and Technologies. China Terminology, 2010, 12(3): 58-60.
- [10] 全国量和单位标准化技术委员会第一分委员会. GB 3102.3—1993 力学的量和单位[S]. 北京:中国标准出版社,1993.
National Technical Committee on Quantities and Units: First Subcommittee. GB 3102.3—1993: Quantities and units—Mechanics [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 1993.
- [11] Encyclopædia Britannica. Gravity [M/OL]. Encyclopædia Britannica Online Academic Edition. Encyclopædia Britannica Inc, 2013 [2013-03-18]. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/242523/gravity>.
- [12] 聂德明. 颗粒沉降及其在流场中做布朗运动的研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.
Nie Deming. Research on the particles sedimentation and Brownian motion[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [13] Cang H X. Modeling studies of protein crystallization in microgravity[M] //Hu W R. Advances in Microgravity Sciences. Kerala: Transworld

- Research Network, India, 2009: 195–214.
- [14] 钟晓燕, 陈佳圭. 空间电磁悬浮技术的发展状况[J]. 物理, 1996, 25(9): 565–576.
Zhong Xiaoyan, Chen Jiagui. Physics, 1996, 25(9): 565–576.
- [15] Rhim W K, Chung S K. Containerless protein crystal-growth method[J]. Journal of Crystal Growth, 1991, 110(1–2): 293–301.
- [16] Hu L, Wang H P, Xie W J, et al. Electrostatic levitation under the single-axis feedback control condition [J]. Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2010, 53(8): 1438–1444.
- [17] Yin D C, Wakayama N I, Harata K, et al. Formation of protein crystals (orthorhombic lysozyme) in quasi-microgravity environment obtained by superconducting magnet[J]. Journal of Crystal Growth, 2004, 270(1–2): 184–191.
- [18] Xie W J, Cao C D, Lü Y J, et al. Acoustic method for levitation of small living animals [J]. Applied Physics Letters, 2006, 89 (21): 214102 – 214104.
- [19] Chayen N E. A novel technique for containerless protein crystallization [J]. Protein Engineering, 1996, 9(10): 927–929.
- [20] Lefaucheur F, Robert M C. Crystal growth in gels [C]//Hurle D T J. Handbook of Crystal Growth 2B. Amsterdam: Elsevier Science B V, The Netherlands, 1994: 1271–1303.
- [21] 江丕栋. 开启创新之门—仪器和实验技术五十年发展纪实[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Jiang Pidong. Opening innovation door—Records of 50 years development of instruments and experimental technologies [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [22] Lee C P, Chernov A A. Solutal convection around growing protein crystals and diffusional purification in space [J]. Journal of Crystal Growth, 2002, 240(3–4): 531–544.
- [23] Kurihara K, Miyashita S, Sasaki G, et al. Interferometric study on crystal growth of tetragonal lysozyme crystal [J]. Journal of Crystal Growth, 1996, 166: 904–908.
- [24] Rhodes P H, Miller T Y, Snyder R S. Hollow fiber clinostat for simulating microgravity in cell culture: US005104802A[P]. 1992–04–14.
- [25] Ashkin A, Dziedzic J M, Bjorkholm J E, et al. Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles [J]. Optics Letters, 1986, 11(4): 288–290.
- [26] Ashkin A, Dziedzic J M. Internal cell manipulation using infrared laser traps[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1989, 86(20): 7914–7918.
- [27] 周金华. 光镊的理论模型及纳米颗粒的操纵[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
Zhou Jinhua. Theoretical model of optical tweezers and manipulation of nano particles [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2010.
- [28] 韩雪. 光镊的光压力测量及光镊与膜片钳结合的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
Han Xue. The measurement of optical force from optical tweezers and the research on the combination of optical tweezers and patch clamp [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009.
- [29] Grier D G. A revolution in optical manipulation[J]. Nature, 2003, 424(14): 810–816.
- [30] 詹福如, 许明亮, 许永建, 等. 单离子束技术概述[J]. 强激光与粒子束, 2007, 19(11): 1913–1917.
Zhan Furu, Xu Mingliang, Xu Yongjian, et al. High Power Laser and Particle Beams, 2007, 19(11): 1913–1917.

(责任编辑 吴晓丽)

· 学术动态 ·



中国核学会第八次全国会员代表大会在北京召开

2013年6月8日,中国核学会第八次全国会员代表大会在北京召开,选举产生第八届理事会、常务理事。中国工程院院士李冠兴当选理事长,王敏正、王森、孙汉虹、余剑锋、张廷克、张维岩、祖斌、贺禹、赵军、康克军、詹文龙、雷增光12人当选副理事长,王德林当选秘书长,197人当选理事。

中国核学会现为拥有1万余名会员、133个理事会单位、覆盖22个专业分会、21个省级学会的全国科技团体。详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35473/n35518/14801060.html>。