第三阶段志愿者在舱内的情景

新闻眼

“月宫365”创密闭生存世界纪录

捧着亲手在“月宫”里种植的大豆、小麦、胡萝卜、西红柿等粮食蔬菜,“月宫365”实验第三阶段的4位志愿者日前面带微笑,从“月宫一号”走出,标志着为期370天的世界上时间最长、闭合度最高的生物再生生命保障系统综合实验获得成功。

“月宫365”实验,实现了“人—植物—动物—微生物”四生物链环人工闭合生态系统的长期稳定循环运转,且保持了人员身心健康。这对于人类实现在地外长期生存,具有重要理论和实践意义。

『月宫』里的日与夜

◇本报记者张黎

至今,还有很多影迷对2015年上映的美国电影《火星救援》念念不忘。

影片描述了在一次人类登陆火星的任务中,宇航员马克与其他队员失联独自遗落在火星上。为了生存,马克利用火星土壤和人的排泄物在居住舱内种植土豆,燃烧联氨生成水,维持舱内水和空气的循环。他将居住舱变成一片土豆农场,靠种土豆、吃土豆活了500天,堪比火星版“鲁滨逊漂流记”。

电影或许虚构,火星也许遥远,但在我们身边,我国第一个、世界第三个生物再生生命保障系统——“月宫一号”的实验舱里,科幻变为现实。志愿者们要在密闭舱里完成365天的生存挑战,因此,这个项目也被称为“月宫365”。

这是一种当今世界上最先进的闭环回路生命保障技术,是未来月球、火星基地等载人深空探测所需的十大关键技术之一。

太空生存,也许不再仅仅是个梦。

这是怎样的一个实验?

舱内实现固体物质、空气和水的三大循环

从北京航空航天大学南门走入校园,沿路前行,一栋独立的圆拱式房屋伫立一侧,这里就是“月宫一号”的实验基地。

2012年,“月宫一号”项目获批,实验舱就建在校园内曾经陈列教学用飞机的场地上,因为这里能承受数吨重的飞机,地面承压能力够强,可以省去打地基的步骤。

走进“月宫一号”,里面空间不大但井然有序。基地内部由1个综合舱和两个植物舱组成,总面积160平方米,总体积500立方米。综合舱包括居住间、人员交流和工作间、洗漱间、废物处理和昆虫间。除电力供应外,舱内的物质与外界全部隔绝,也包括空气。

北京航空航天大学生物与医学工程学院的博士生导师、“月宫一号”首席科学家刘红介绍说,“月宫一号”是能与地球媲美的“微型生物圈”,可以实现航天员在远离地球的太空长期生活的目标。

在“月宫一号”的生物再生生命保障系统中,栽培了粮食作物、蔬菜和水果,饲养了动物(黄粉虫),还有微生物来降解废物。

植物不仅能够给宇航员提供食物,还可以通过光合作用产生氧气、通过蒸腾作用获得纯净的饮用水。而作物的秸秆、蔬菜的根和老叶败叶,可以被用来饲养动物,为宇航员提供优质的蛋白和更合理的氨基酸配比。

植物中不可食用部分、人的排泄废物、厨余生活垃圾等,被送进微生物降解环节,微生物可以分解被固定的碳,变成二氧化碳进入到空气中重新被植物利用进行光合作用;从尿液中回收水和氮素以及经过生物净化后的卫生废水,可以用于灌溉培养植物。植物吸收了这些废物处理后产生的二氧化碳和水,又可以不断生长出新的食物。

由此,就形成了“月宫一号”里物质的闭合循环。据介绍,“月宫一号”系统闭合程度可达98%,舱内水和氧气可实现100%循环再生。

志愿者要完成哪些工作?

实验、记录、种菜、吃饭,一个都不能少

透过植物舱那扇紫红色的小小的窗,里面的小麦等植物长势喜人,一派勃勃生机的景象。在这个“秘密花园”里,时不时有志愿者的身影闪现,他们丝毫不受外界干扰,认真忙着手头上的工作。

完成这次实验,志愿者无疑是其中的核心要素。

“月宫365”实验共有11位志愿者,其中有3位是候补志愿者,他们全部来自“月宫一号”刘红的团队,有硕士、博士研究生及教师。

如何历经层层选拔、成为志愿者中的一员?除了热爱祖国航天事业,身体心理素质过硬外,入选的志愿者还要掌握必要的技能,如实验技能和食品加工技能等,还要与其他志愿者良好相处,团结一致共同完成实验任务。

在不久前的一次“月宫一号”公众开放日活动中,记者与志愿者团队有了近距离接触。

作为志愿者团队的负责人,刘光辉忙着接待一批批前来参观的社会公众。

如今已是博士生的刘光辉,有近10年时间都在跟随刘红教授从事“月宫”相关领域的研究。让他感到荣幸的是,2017年7月9日到2018年1月26日,他被选为第2组的舰长,进入“月宫一号”完成相关实验工作。

刘光辉介绍说,志愿者们在舱内分工明确:舰长负责统筹舱内所有工作,负责植物舱Ⅱ种植管理及做饭;副舰长负责固废处理,尿液等废水处理、秸秆粉碎、小麦脱粒,还有黄粉虫和蘑菇的养殖维护;其余两名同学则负责植物舱Ⅰ种植、维护以及舱内物品管理等。

刘光辉所研究的领域正是固体废物处理,舱内的一些科学实验,对自己的科研内容有很大帮助。他说,实验舱内设置了废物处理间,是处理固体和液体废物的场所。固体废物包括人的排泄物、植物秸秆及厨余等,它们进入废物处理间后,利用生物转化剂进行处理。处理后的产物可以作为有机肥施用,发酵过程中产生的二氧化碳也可以通入植物舱,作为植物光合作用的原料。

记者看到,“月宫365”计划的每一天都被事无巨细地记录在《工作手册》中,大部分时间都是规律和固定的。与此对应的是详实的《记录手册》,既能记录舱内的工作与生活,又能转化数据用于辅助分析心理、生理与行为科学。

志愿者在舱内怎么吃饱肚子呢?舱内的“农场”里种着小麦、大豆、玉米等粮食作物,还有胡萝卜、黄瓜、生菜等蔬菜作物,共计35种。“月宫365”中,80%的食物来自循环再生,还有20%是油盐糖及部分肉类等外源食物定期送入舱内。

一组舰长刘慧和二组舰长刘光辉都是组内相对年长的志愿者,两人主动担起厨师的工作。食谱虽是固定的,但他们还是想尽办法烹饪出新意,刘慧在舱内学会了做花卷,刘光辉则“发明”出“月宫蛋糕”“月宫蒸包”等新花样。

在舱外,一间小办公间内布满了视频监控仪器。“这是团队其他科研人员工作的场所,我们在舱外,也是24小时实时监控着舱内的情况。”刘光辉说。

取得哪些科研成果?

积累大量科学数据,探索地外生存关键技术

从2017年5月10日开始,1组值第一班,持续时间60天;2组值第二班,持续时间200天,打破此前由俄罗斯创造的同类系统中最长驻留180天的世界纪录。随后,1组再值第三班,原本计划的持续时间是105天。而此次实验中,在舱内志愿者事先并不知情的情况下,“故意”模拟了突发状况,将出舱时间延迟了5天。

对此,刘红解释到,延迟出舱的情况在现实中可能会遇到,如因为气候问题、技术故障等导致飞船无法按时返回,因而模拟“意外情况”很有必要。

“月宫365”实验取得突破性的成果。在世界上首次建立了系统长期稳定运行的生物调控技术,并通过实验过程中不同代谢水平的乘员组换班更替、停电及设备故障冲击等突发状况,验证了技术的有效性。实验还发现了在幽闭空间中自然光制度变换对人的生物节律和情绪的影响规律,发明了模拟自然光变换调节人体生物节律和情绪技术和设备,并建立了植物长期连续高效栽培技术、营养液长期循环利用净化和调配技术。

两次入舱的刘慧博士这样写到:“月宫一号”这个大系统的平稳运行,归功于舱内外所有月宫人的共同努力。我们克服困难,劲往一处使,最终我们做到了,我们为此而感到自豪,感到骄傲!

目前志愿者已经出舱,但任务并没有结束。接下来团队要将所获得的实验样品和数据,形成报告、论文或专利,为实验画上圆满的句号。

刘红透露,下一步会花更多精力在空间搭载的小型生物再生生命保障系统实验装置研制上。

“我们会做很多个装置,一部分在地面上,另一部分还会搭建到空间站,如将装置搭建到月球探测器、火星探测器,这样可以通过天地对比,获得矫正参数,由此可以给月球、火星基地设计生命保障系统。”

“神舟”号飞船总设计师、中国工程院院士戚发轫在实验结束的仪式上这样说——离开地球,首先必须解决人类在地球外的长期生存问题,而生物再生生命保障系统就是人类实现在地外长期自治生存的关键技术。“月宫365”实验是不可取代的,它对于人类实现在地外长期生存无疑是具有重要理论和实践意义。

“月宫一号”科研团队取得了大量宝贵实验数据,为我国未来深空探测生物再生生命保障系统积累了大量科学数据,也使得我国在航天生物再生生命保障领域走在了世界前列。

【对话】第二组舰长刘光辉

中国环境报:参与此次月宫实验,最大的收获是什么?

刘光辉:收获还是很多的。在先期建设这个实验舱时,刘教授就交给我任务,要在现场做一些监督协调工作,我也因此得到了各方面的锻炼。此外,我参加了“月宫一号”的密闭实验,一想到纪录是由我们打破的,还挺激动的。

中国环境报:在舱内生活200天,是怎样一个状态?

刘光辉:公众问得最多的,是舱内如何生活、志愿者在里面是什么样的状态。其实没有那么神秘,里面的日程安排是忙碌而有序的。每天早晨7点起床,做早饭,然后就开始了一天的工作。志愿者各自分工不同,都有相应的实验内容,也就开始忙起来。每天的工作都有日程表,配营养液、做实验、种植、养虫子等,精确到每一天具体要做什么,都有清晰的记录。任务还是挺繁重的。

中国环境报:你认为最大的挑战是什么?

刘光辉:最大的挑战,无疑是不能出舱,要克服心理上的障碍。但在舱内有无线网络,跟外界交流也很方便,所以感觉还好。我也带进去一些书籍,在里面读读书,也是解解闷。实验员有一些自己的业余时间,大家会看文献、写论文、听广播、练书法、蹬单车等。

中国环境报:当你出舱时是什么感受?

刘光辉:在舱内待久了,一出来的时候正好是北京的冬天,我觉得有点不适应,还是舱内的空气新鲜。

“月宫365”三大实验

1.关窗实验

在正常生活中,人们可以通过日升日落等光的节律变化来感知时间,由此安排作息,形成生物钟。

“月宫一号”研究团队为志愿者设计了关窗实验,即将窗户贴膜,从物质和感知上都让舱内志愿者与外界自然界隔绝,舱内只有照明设备,舱内人感受不到外界时令和太阳光的变化。期间,志愿者的体重、体脂率、呼吸氧耗、心率等体格指数一一被记录下来,研究人员还利用情绪软件、生物标志物观察志愿者心理状况。

刘红透露,团队后续会研发相应的技术和产品,用于地下、水下和地球外等特殊环境中帮助人们调节心理、情绪和生物节律等。

2.断电实验

实验期间,“月宫”经历了几次意外断电,当时实验没有受到影响,志愿者的应急处理、系统运转的数据等都被收集起来。刘红表示,实验期间还人为模拟一些机电故障和停电状况,以测试整个生命保障系统的耐冲击能力。

3.延期实验

“月宫365”,即365天实验,4位志愿者满心期待着5月10日结束实验,回归“地球”。但如果把实验延长,他们会有何反应?

研究团队直到4月份才告诉舱内志愿者延期出舱,“就是想看看他们每个人会有哪些不同反应。”同时,研究人员利用量表,心率、血压、脑电波测量仪器等对志愿者的反应进行观测。

“月宫一号”是北京航空航天大学建立的空间基地生命保障人工闭合生态系统地基综合实验装置。

“月宫一号”基于生态系统原理将生物技术与工程控制技术有机结合,构建由植物、动物、微生物组成的人工闭合生态系统,人类生活所必需的物质,如氧气、水和食物,可以在系统内循环再生,为人类提供类似地球生态环境的生命保障。

2014年5月,“月宫一号”成功完成了我国首次长期高闭合度集成实验,实验达105天。使我国此项技术水平达到国际领先水平,研究成果将为我国今后深空探测生命保障提供理论和基础技术。

“月宫一号”示意图

(图自网络)

“月宫”里那些深藏不露的神器

①黄粉虫

黄粉虫(右)出现在月宫的餐桌上。

相比其他国家的地外生存保障技术,“月宫一号”结构最复杂。它首次同时引入了动物和微生物,组成了由“人—植物—动物—微生物”四生物链环构成的人工生态系统。

为什么要引进动物?主要是让志愿者有动物蛋白的摄入。系统的“动物准入标准”要求:不能使人类产生食用心理障碍,不能与人争夺食物,应以人不食用的植物废物为食,在提供动物蛋白的同时还能处理植物秸秆等。

团队最终锁定的是一种没人想到的动物:黄粉虫。

细长的黄粉虫是“月宫”里的一大明星,它能长到2.5厘米,营养丰富,味道鲜美,油炸后如薯条般可口,磨碎后还可夹在面包里佐餐。

1968年,黄粉虫就随着前苏联的太空飞船登上太空。现在,国际上已经开始接受昆虫作为未来的可持续食品源以及太空中宇航员的蛋白食物源。

②光源

“月宫”内部的光环境有讲究。

工作区和休息区照明采用LED光源。植物舱设计了利于植物生长的特殊光源,并根据植物的需要设置光配方。因为植物对红光、蓝光需求高,红光最多,其次是蓝光,所以,植物舱看起来是泛红蓝光。

据介绍,志愿者在光下操作时需佩戴防护眼镜,避免部分光谱对人眼产生的不利刺激。

综合舱则设计了光纤导光器,可提供科学的动态照明环境,并且去除了对人体有害的部分紫外与红外光谱,提供了促进维生素D合成的中波紫外光以及促进人体血液循环和新陈代谢的近红外光。

“月宫一号”探究出的科学照明方案,可为载人航天提供参考,未来相关成果还可应用于深海长航、地下和水下设施、长期不见阳光的地下室等场景。

③小麦

实验舱内植物种类的选择,不仅要考虑营养需求,还需要考虑生产效率高、栽培工艺简单。其中,小麦是这个系统中最重要的植物,承担了为志愿者提供口粮、所需氧气等功能。

月宫种植也有学问。为节省空间、提高单位面积产量,植物舱Ⅰ的小麦主要栽培于3层植物架上,栽培面积共为60㎡,分30批。这些小麦是按照一定时间间隔分批种植。在恒温恒湿、LED光源的舱内环境下,小麦只需70天便可成熟。由于种植的时间和状态不同,小麦的光合作用速率也不一样。因此,每次小麦收获之后就要马上再次播种,保证生长周期内各个状态的连续性,也保证光合作用吸收二氧化碳呼出氧气的稳定性与持续性。

环保科普专栏

生态环境部科技标准司
中国环境科学学会

本报地址:北京市东城区广渠门内大街16号 邮编:100062 电话:67194786(总编室) 67113790(广告部) 67113791(发行部) 广告经营许可证:京东工商广字第8048号 年价:390元 月价:32.50元 零售:每份1.50元 人民日报印刷厂印