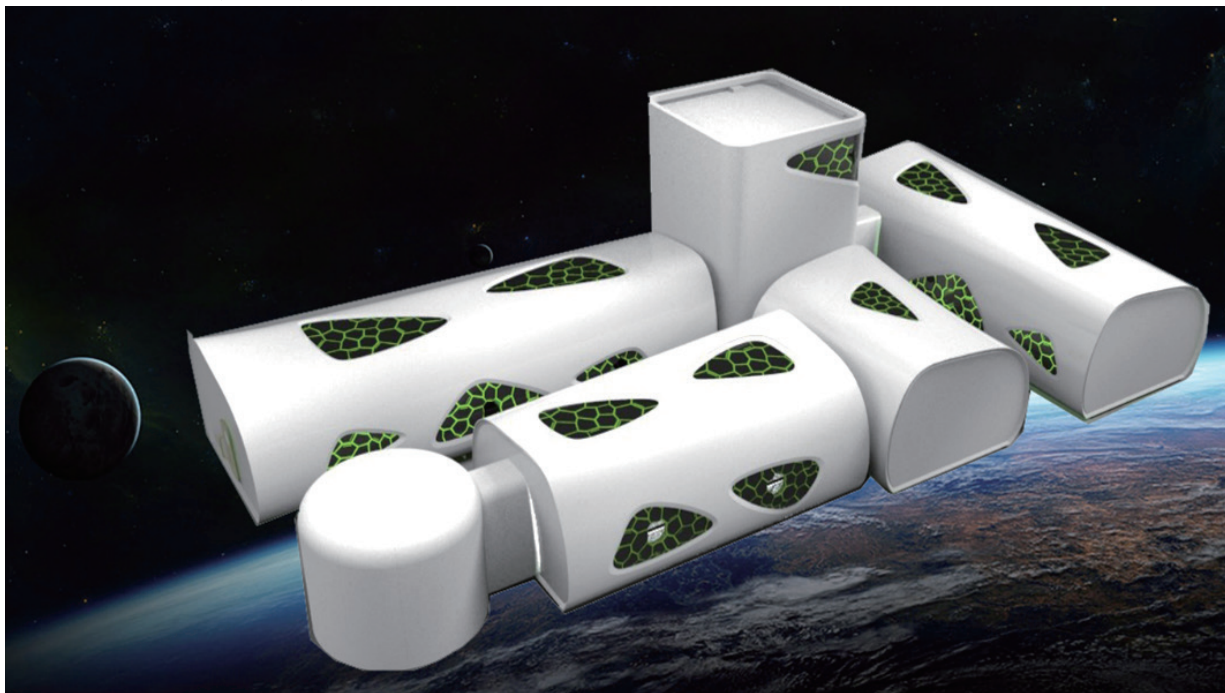


“绿航星际”4人180天集成试验平台



植物：人类太空之旅的伴行者

撰文

李家练 艾为党

植物与人类太空探索活动的渊源已久，自20世纪70年代有空间站（“礼炮”1号）以来，就有了人类在太空种植植物的开端。近半个世纪以来，已经有40多种植物，包括模式植物（如拟南芥）、可食植物（如洋葱、生菜）以及观赏植物（如兰花、玫瑰）等等，依靠着20多个形形色色的空间植物栽培装置，伴随着人类探索宇宙的脚步，走出了地球。

浩瀚星空中，为什么要选择植物与我们同行？

空间植物栽培的主要目的，包括研究空间特殊环境对植物生长发育的影响，植物对航天员的心理支持，以及未来在地外环境中为人类提供大气、水以及食物等生命保障物质等。

已有的空间植物栽培活动主要在近地轨道开展，研究重点集中在空间微重力环境对植物的影响。空间微重力下水分传导和气体交换等特性与地面有很大不同，在空间植物栽培过程中曾出

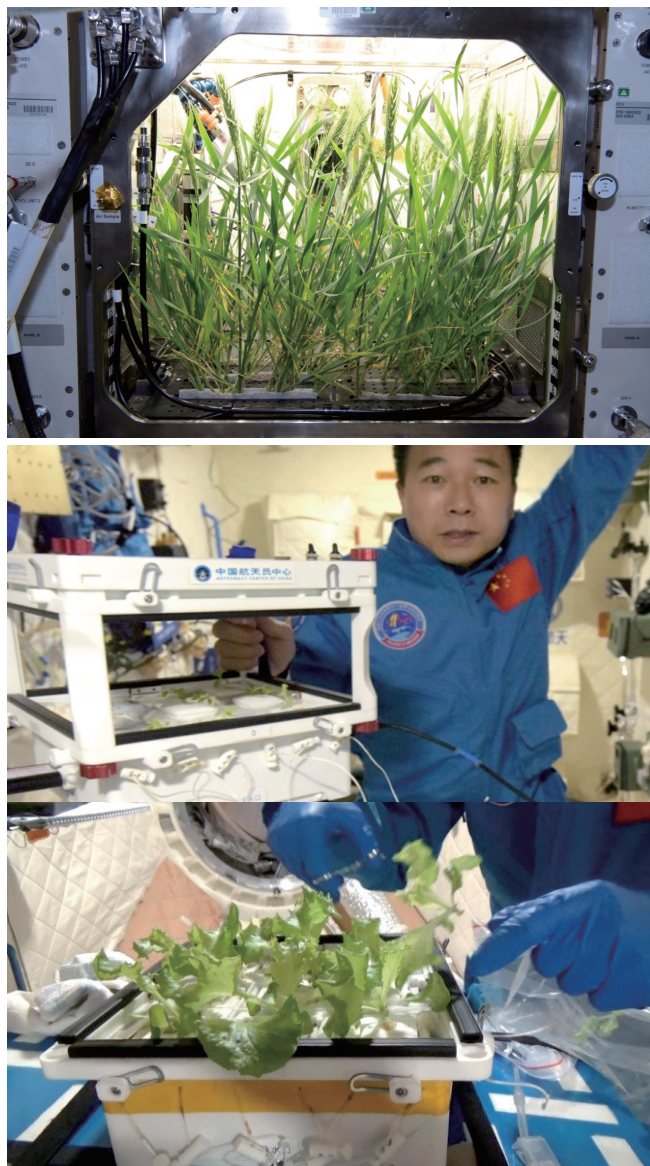
现过根系过涝和缺氧现象。在微重力条件下，流体行为发生根本变化：植物栽培基质中的水分运动和分布的主要影响力为吸附力和表面张力，这两种力会使水分在基质颗粒中进行同心圆均匀化分布，在植物周围形成边界层，导致植物与周围物质交换变得困难。因此，微重力下的水分和养分供给及控制技术是空间植物栽培的关键。为解决这一问题，植物栽培装置研发人员考虑了各式各样的栽培基质并配合不同的灌溉系统。栽培基质的选择从早期的离子交换树脂（如苏联“礼炮”系列空间站搭载的“Oasis”系列、“Vazon”以及“Malachite”等）、固态化琼脂（如“礼炮”系列空间站搭载的“Svetoblok”“Phyton”），到岩棉（如美国航天飞机搭载的“Plant Growth Unit”）、多孔材料——蛭石（如中国“天宫二号”搭载装置）等，并在基质中铺设多孔管（如

航天飞机搭载的“Astroculture”，国际空间站搭载的“Advanced Astroculture”“Biomass Production System”），甚至在多孔管外包装发挥毛细作用的细绳（如俄罗斯“和平”号空间站搭载的“SVET”，国际空间站搭载的“Lada”）等。

然而，近地轨道开展的空间植物学研究只是人类与植物漫漫同行路中迈出的第一步。未来人类探索星际活动的时间更长、距离更远、人数更多，对于能源以及物质的需求不能依赖地球来进行携带补给，建立一个能够长期稳定的循环大气、水以及食物等基本物资的密闭环境就势在必行。在这样的密闭系统中，植物不能仅仅作为研究项目或航天员心理支持的“吉祥物”而存在，而必须转为整个物质循环系统中的一环甚至是关键节点，这样才能陪伴人类在星辰的探索中走得更加长远。

受空间、能耗以及研究人员等因素的限制，以植物作为建立生物再生式环境控制与生命保障系统（又叫受控生态生保系统，Controlled ecological life support system, CELSS）核心部件的技术研究主要在地面开展。整个CELSS运行遵循地球生物圈“生产者-消费者-分解者”的基本原理：①植物通过光合作用，吸收密闭舱内乘员、动物以及微生物代谢产生的 CO_2 ；释放的 O_2 又是舱内生物代谢及废水、废物处理所需 O_2 的来源。②植物蒸腾作用产生的冷凝水，经过水处理系统的净化处理后，可以作为乘员饮用和生活用水；而乘员的尿液以及生活废水经过处理后，重新排入营养液系统中，供植物生长所需。③通过植物的生产，为系统内乘员或动物提供食物和能量，这也是无法通过物理化学再生生保技术实现的关键环节。

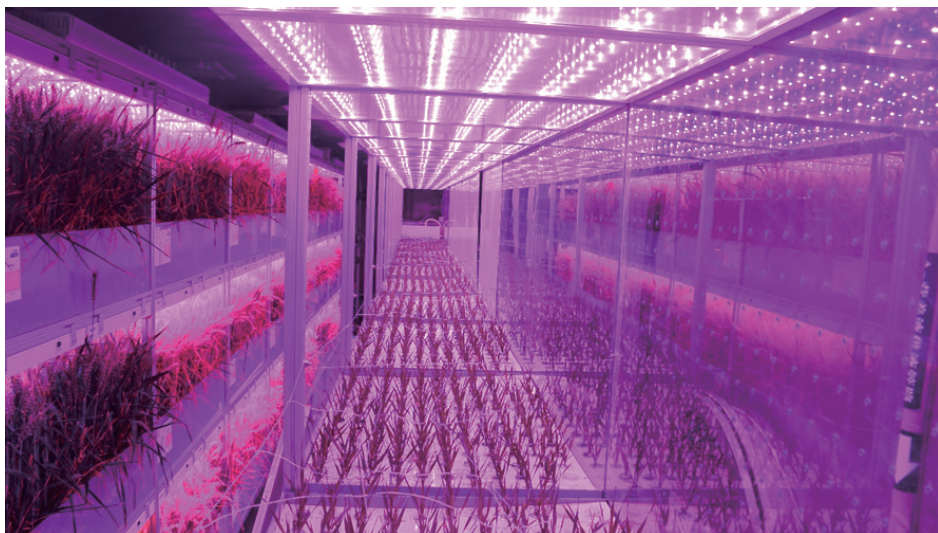
从20世纪60年代起，地面已经开展了一系列载人CELSS集成试验的研究，典型的如俄罗斯的BIOS系列试验、NASA的4人91天整合试验等等，积累密闭系统中植物部件的运行数据、生产能力以及计算物质闭合度等。我国从20世纪90年代也开始开展了相关的研究：福建农业科学院率先开展了2人7天的人-红萍-鱼的整合试验研究；2012年，中国航天员科研训练中心开展的2人30



上：国际空间站上的植物培养装置（APH）进行的小麦栽培试验（NASA，2018）

下：中国航天员中心在“天宫二号”进行的生菜培养试验（引自沈韞颀等，2017）

天试验，实现了大气的完全闭合；2014年及2018年，北京航空航天大学完成两次多人多天集成试验；2016年，中国航天员科研训练中心和深圳市绿航星际太空科技研究院开展的“绿航星际”4人180天CELSS集成试验，根据人类对食物多样性的需求，种植了25种植物，建立了“人-植物-动物-微生物-环境”密闭生态系统，除了大大提升系统闭合度以外，还模拟了人类未来星球基地从物



“绿航星际”4人180天集成试验期间种植的小麦
供图 / 李家练

理化学再生式过渡到以生物再生式为主的生保系统的全流程构建和运行。

生活在地球上，我们离不开植物的生长给我们带来的氧气、水和食物。未来的宇宙探索中，人类也必须利用植物来重新建立人工生态系统，让人类能够安全、健康、快乐地生活在太空中。研究植物在空间的生长发育规律，筛选适合在太空中生长、繁殖、生产的作物品种，开发物质高效生产和循环利用的技术和方法，是我们在满怀憧

憬仰望星空时，脚踏大地实实在在为未来星际征程所做出的努力。

作者简介

李家练，深圳市绿航星际太空科技研究院工程技术部副部长，助理研究员。

艾为党，中国航天员科研训练中心研究员。

(责编 桑新华)



美国肯尼迪航天中心在国际空间站上搭载的蔬菜生产系统生产的生菜