

Does life exist only on the Earth?

生命是否只存在于地球?

林杨挺

中国科学院地质与地球物理研究所, 中国科学院地球与行星物理重点实验室, 北京 100029

E-mail: LinYT@mail.iggcas.ac.cn

2016-06-29 收稿, 2016-09-13 修回, 2016-09-14 接受, 2016-10-21 网络版发表

国家自然科学基金(41430105)资助

摘要 虽然长期的努力尚未发现地球之外存在生命, 但越来越多的证据表明, 地球不可能是宇宙中唯一孕育生命的星球. 在太阳系中, 火星仍是发现地外生命最有希望的天体. 火星探测和火星陨石研究都证明, 它在早期历史上有过一个湿润的环境, 其表面曾经有过河流、湖泊、甚至海洋, 完全可以孕育和支撑生命活动. 直至今, 火星的次表层等局部区域仍有地下水的活动. 木卫二和其他外行星的卫星很可能存在冰下海洋, 也是未来探测地外生命的重要目标. 开普勒太空望远镜发现了大量的系外行星, 其中一部分落在宜居带, 并具有岩石表面, 验证了宜居行星在宇宙中存在的普遍性. 原始的球粒陨石、碳质小行星、彗星、星际尘埃等存在有大量复杂的有机分子, 为构建生命体提供了关键的物质基础, 是联系无机-有机-生命演化链条的重要环节. 生命起源与地外生命的存在与否, 不仅是最基本的自然科学问题, 也是深空探测的重大科学目标.

关键词 生命起源, 地外生命, 有机质, 火星, 陨石

1 是否存在地外生命?

地球是否是宇宙中唯一存在生命的星球? 这不仅是一个基本的科学问题, 也是一个古老的哲学和宗教问题. 自从认识到地球不是宇宙的中心, 太阳只是宇宙中的一颗普通恒星, 逻辑推理必然得出存在地外生命的结论, 包括具有高度文明的地外智慧的存在. 在现实生活中, 不明飞行物、外星人常常出现在科幻小说、影视作品等各种媒体中. 但是, 迄今为止, 没有可信的证据证明地外生命的存在, 更未发现“外星人”.

月球是最靠近地球的天体, 阿波罗计划人类首次登上月球, 并采集超过380 kg的月球样品. 该计划曾周密地考虑到地外生命存在的可能, 对返回器和月球样品采取了严格的隔离和消毒措施, 以避免未知地外微生物对地球可能造成灾难性的后果. 阿波罗计划的一个重要成果就是, 确证月球上不存在任

何形式的生物.

基于望远镜的观察, 早期在火星表面发现一些规则图案, 并被解释为运河等, 因此猜想火星上存在生命, 火星成为了一些文学作品和电影的主角. 20世纪70年代美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)的海盗号火星探测任务, 其主要目标就是探测火星是否存在生命. 海盗号着陆器传回的图片显示, 火星表面一片荒漠, 看不到任何生命存在的痕迹, 其生物学实验装置也未能检测到确切的生命指征.

1996年, NASA科学家宣称在一块从南极冰盖上发现的火星陨石中发现了火星生命的证据^[1]. 这块火星陨石的编号为ALH 84001, 是已知最古老的火星陨石, 形成于44亿年前. NASA科学家在这块火星陨石中发现的证据, 包括碳酸盐、多环芳烃(PAH), 以及细菌形态的磁铁矿小体等^[1,2]. 虽然后续的一些研究

引用格式: 林杨挺. 生命是否只存在于地球? 科学通报, 2016, 61: 3428-3434

Lin Y T. Does life exist only on the Earth? (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 3428-3434, doi: 10.1360/N972016-00747

也支持火星生命的存在,如碳酸盐的低温成因^[2,3],但是,更多的研究对上述证据提出质疑,包括碳酸盐的高温成因^[4]和冲击熔融成因^[5]、地球有机质的污染^[6,7]、非生物过程产生的细菌链形态^[8]等。2004年,火星快车在火星大气中首次探测到最高含量30 ppb(1 ppb=1 ng/g,余同)的甲烷气体^[9]。进一步的探测发现其空间分布不均一,并存在季节性变化^[10]。火星大气中甲烷的发现,再次激发了对火星生命的探索热情,促进了“好奇号”项目的批准实施。2016年,欧洲太空局(European Space Agency)开始实施EXOMARS计划,以进一步探测火星大气的甲烷。未来火星探测的主要任务和目标,仍聚焦于火星生命的寻找,包括EXOMARS-2火星车的钻孔和次表层样品的分析,以及NASA的火星采样返回计划等。我国的火星探测工程已正式启动,计划于2020年实施火星环绕、软着陆和巡视三位一体的联合探测。

2 适宜地外生命的气候环境

直接探测地外生命及其存在的痕迹具有极大的困难,而另一条更为可行、风险较低的途径是研究目标星球的气候环境及其演化,这也是“好奇号”采取的策略。现代火星表面寒冷干旱,南北二极存在季节性变化的冰盖,其主要成分为干冰(CO_2)。火星大气的压力约为地球的百分之一,主要成分为 CO_2 ,含少量 N_2 和氩气等稀有气体。因此,现代火星的表面条件不适宜生物生存,也未发现任何生命的迹象。但是,在火星的次表层局部仍具有支撑生命活动的条件。基于火星勘察轨道器(MRO)高分辨影像科学实验对同一区域拍摄的照片对比,发现一些撞击坑壁上出现季节性变化的暗色线状纹理,认为是在温暖的季节,由于地下卤水的活动产生的^[11]。对这些暗色线状纹理的光谱解译表明,它们是各种含水的高氯酸盐和氯酸盐等蒸发盐类,是卤水蒸发后的残余物^[12]。这一发现表明,火星次表层现今仍存在液态水,很可能是含盐的卤水。但是,现代火星是否存在液态水仍存争议,这些暗色线状纹理也可能由其他机制形成,例如 CO_2 干冰的升华触发碎块的滑动等^[13,14]。

基于火星快车拍摄的高分辨影像地形,流变学分析表明在碎石块覆盖的次表层下,存在地下冰川^[15]。火星勘察轨道器(MRO)的雷达探测证实,碎石块覆盖下确实存在几乎纯的水冰^[16]。因此,当上

侵的岩浆遇到地下冰川时,后者将融化形成地下热液系统,构建一个微生物活动的理想环境^[17]。火星上巨大的萨西斯(Tharsis)火山群隆起,其火山年龄可小至4亿年~1亿年左右^[18],并且大量火星陨石的年龄也落在1.8亿年^[19],说明火星的火山活动持续很久。火星的火山喷发甚至一直持续到晚至200万年之前,几乎表明现在也仍有火山活动,为融化地下冰川提供了必需的热源^[18]。GRV 020090是我国在南极格罗夫山发现的一块火星陨石,年龄约1.8亿年。利用纳米离子探针分析了该陨石岩浆包裹体中的水含量和H同位素组成,发现水的含量从中央到边缘是不断升高,而且这种水具有非常高的氘(D,氢的重同位素),其D/H比值是地球的7倍。根据所测定的水含量变化,指示这些水是由外部扩散进入到岩浆包裹体。不仅如此,依据水在岩浆包裹体中的扩散速度,估算出该地下水系统存在时间可长达25万年之久^[20]。这一发现强有力地证明,虽然火星表面从30多亿年以来,一直处在寒冷干旱的极端环境,但晚至1.8亿年,在火星次表层的局部区域仍可存在由地下冰川融化形成地下水,构成一个适宜生命存在的环境。

比较一致的看法是,大约37亿年前火星是一个湿润的星球,存在河流、湖泊、甚至海洋。“好奇号”对所着陆的盖尔撞击坑(Gale crater)综合探测,得出该盆地曾经是一个湖泊的结论^[21]。火星表面分布的黏土和层状硅酸盐等水蚀变矿物^[22~24]、赤铁矿^[25],以及碳酸盐^[26,27]、硫酸盐^[22]、高氯酸盐^[28]等蒸发性盐类,均说明了古代火星地表水的存在。基于高分辨地形地貌的分析,还发现34亿年前火星存在海啸的证据^[29]。此外,火星陨石中同样存在各种水蚀变矿物,以及硫酸盐和碳酸盐等蒸发性盐类^[19,30]。

火星表面的水哪里去了?火星又是如何从一个宜居的星球演变成现在的不毛之地?除少量水储存于南北极冰盖^[31,32],以及地下冻土和冰川^[33,34]之外,大部分水可能逃离了火星。现代火星缺失类似于地球的偶极磁场,因此太阳风直接作用于火星大气,将水和其他组分电离分解,并带离火星。由于氢的逃逸速度远大于氘,结果使残留下的水不断富集重同位素。因此,根据所测定火星水的D/H同位素比值,估算出早期火星曾经被深达137 m的大洋所覆盖^[35]。

除了火星之外,太阳系中最有希望发现生命的天体是木星的3颗伽利略卫星,即木卫二(Europa,欧罗巴)、木卫三(Ganymede,盖尼米德)和木卫四

(Callisto, 卡利斯托). 它们的冰盖之下可能都存在液态水, 特别是木卫二的冰下海洋被认为最有可能发现生命, 也是NASA优先探测的目标. 更进一步, 卡西尼-惠更斯飞船对土卫六的探测, 发现存在由液态甲烷构成的湖泊^[36], 土卫六(泰坦)或许存在一种与已知生命不同的新形式^[37].

太阳只是银河系中一颗普通的恒星, 而已知的宇宙包含有 10^{11} 量级的银河系, 很难想象地球是宇宙中唯一有生命的特殊行星. 但是, 地球之外是否存在生命, 仍需要科学的发现加以证实. 系外行星的发现, 是探索地外生命的关键一步. 1995年首次发现了第一颗围绕普通恒星运行的系外行星^[38]. 随后由于技术的进步, 特别是开普勒太空望远镜的升空, 系外行星的发现数量迅速增长. 开普勒太空望远镜对天鹅座和天琴座天区的恒星进行详细的普查, 以获得统计数据. 基于行星凌日的观测数据, 发现~20%的恒星具有行星, 已确认的系外行星数量达到3287颗(<https://exoplanets.nasa.gov/>). 基于对已知生命的认识, 液态水的存在是一个关键的必要条件. 因此, 基于液态水存在的环境要求, 提出了宜居带概念, 即要求行星处在一个离恒星合适的位置, 使水能以液态的形式存在. 其他需要考虑的因素还包括行星大气层的厚薄, 以及行星是否具有固态岩石表面. 开普勒太空望远镜所发现的行星中, 满足宜居带条件、大小接近地球的岩石行星21颗, 表明宜居行星的发现几率超过0.1%. 已知银河系的恒星数量约为 10^{11} 量级, 而在可观测的宇宙中, 类似的银河系也在 10^{11} 量级, 由此估计的恒星总数约为 10^{22} 量级, 而类似地球的行星数量达到 10^{19} 个. 一方面, 开普勒太空望远镜的发现有力地表明, 地外生命的存在不仅必然, 而且是一个很普遍的现象. 另一方面, 根据恒星光谱的观测结果, 一些恒星的年龄远大于太阳(50亿年左右), 这表明一些地外生命可能经历了更长时间的演化, 很可能存在比人类更高级的智慧.

3 地外有机质及其演化

地外有机质的形成是生命起源的关键环节. 有机质广泛发现于各种陨石样品, 特别是碳质球粒陨石, 以及碳质小行星、彗星和星际空间中.

陨石是太阳系不同演化阶段残留的“化石”, 其中球粒陨石保存了太阳星云过程的信息. 有机质主要发现于最原始的球粒陨石中, 特别是碳质球粒陨

石(如著名的Murchison, Allende, Tagish Lake陨石), 它们是碳的主要存在形式. 对碳质球粒陨石的大量分析表明, 这些非生物成因有机质的组成极为复杂, 除少量可溶性有机分子外(约为总量的1%~30%), 主要为不溶于水和有机溶剂的干酪根型大分子物质^[39]. 已发现的有机物包括: 烷类、芳烃类、烯类、卤烃类、酯类、醛类、酮类(芳香烃、脂肪烃, 各种氨基酸、组成核酸的碱基等). 在Murchison碳质球粒陨石中发现的氨基酸超过80种同分异构体, 而其中仅有20种在地球生命物质中发现. 不同于地球生物氨基酸的左旋结构, 地外氨基酸具有近似相等的左旋(L)与右旋(D)镜像结构. 但也在一些碳质球粒陨石中发现有左旋结构过剩. 此外, 地外有机质的H和N等同位素组成不同于地球上的类似组分, 具有富集重同位素的特征(例如: δD 高达4000‰, $\delta^{15}N$ 高达500‰), 但C同位素的 $\delta^{13}C$ 落在-30‰~50‰之间^[40]. 微区分析表明, 这些有机质不均一地分布在球粒陨石的细粒基质中. 陨石中的有机质经历了长期强烈的宇宙线和紫外线的辐射, 以及在小行星母体中的热变质和水的蚀变改造.

彗星是太阳系最古老的天体, 除富含水之外, 还含有大量的各种有机质, 包括HCN, H_2CO , CH_3OH , 以及芳香碳、脂肪碳、烯碳和含杂原子(N, S等)官能团的化合物(例如酰胺、羧酸和乙醇或乙醚). 类似于碳质球粒陨石, 彗星中的有机质同样富含重的同位素组成. 罗赛塔号飞行器和菲莱着陆器对67P彗星核的探测, 发现其表面非常富集有机质^[41,42]; 深度撞击计划对Tempel 1彗星的探测也发现了近20种有机化合物^[43]. 除此之外, 对星际分子云的探测, 发现了约200种有机分子, 其碳原子数为1~11, 包括从甲醛至正丙基氰化物.

无论是球粒陨石、彗星、或是星际分子云, 这些有机质毫无疑问是非生物成因, 它们可能提供了生命起源的重要初始物质. 这些地外有机质的形成机制并不清楚, 但它们显然不同于FTT(Fisher-Tropsch-type)反应或Miller-Urey实验. FTT反应, 可以通过金属催化剂(Fe, Co, Ni), 将 $CO+H_2$ 转化为各种烃类、醇类等有机质; 而著名的Miller-Urey实验, 在模拟地球早期条件下, 则从水、甲烷、氨和氢气等合成出构成生命的多种氨基酸.

火星是最有可能发现生命的星球, 而火星陨石作为目前唯一可获得的火星样品, 很可能保存有生

命相关的信息。尽管火星陨石ALH 84001中的多环芳烃等很可能是地球有机物的污染,一些火星陨石,特别是降落型的新鲜火星陨石样品中,检测出地外来源的有机组分^[44]。火星陨石有机质研究的一个关键问题是如何避免和识别地球有机质的污染。选择目击降落的新鲜火星陨石,能有效地减少污染的程度,但在收集到的150多块火星陨石中,仅有5块属于降落型,而且有4块降落于1893~1962年,实际上也受到不同程度的污染。2011年降落在摩洛哥的提森特(Tissint)火星陨石是最新鲜的火星样品^[45]。另外,采用阶段升温的方法,能够排除较低温度析出的污染组分,但可能充填在裂隙中的火星来源的有机质也被当作污染物而排除^[46]。对10个火星陨石在显微镜下观察,找到了一些位于样品切片表面之下(因而排除污染)的有机物微粒,并根据激光拉曼光谱特征,证明属于干酪根型^[47]。但是,该文作者错误地认为这些有机质包裹在岩浆包裹体中,从而得出它们源于火星幔,形成于岩浆热液过程的结论。

近期对提森特火星陨石新鲜样品的深入研究^[48],在岩石光片上发现了2种产状的有机质,大部分充填于 $<2\sim 4\ \mu\text{m}$ 的微裂隙,另一部分呈几微米大小的微粒包裹于冲击熔融形成的熔脉中,后者表明这些有机质形成于火星上的撞击事件之前,是它们源自火星的有力证据。根据激光拉曼光谱的特征,它们类似干酪根型,并且2种产状的有机质相同。为了进一步了解这些有机质的特性和可能的来源,借助高空间分辨的纳米离子探针对于H, C, N, O, S, P, Cl等元素分布和含量,以及H, C, N的同位素组成进行分析。元素含量分析证实它们属于干酪根型有机质,而明显区别于较纯的石墨;H同位素组成具有富氘的特征,其 δD 高达+1180‰,确证其火星来源而不是地球的污染。N同位素组成未发现明显的异常,但C同位素富集较轻的 ^{12}C , $\delta^{13}\text{C}$ 范围为 $-12.8\text{‰}\sim -33.1\text{‰}$ 。如果同火星大气 CO_2 进行对比,则该有机质的C同位素组成表现出很明显的富 ^{12}C 特征。这也是迄今为止,支持火星可能曾存在生命的最有力证据。另外一种可能是,这些有机质源于撞击火星表面的彗星或碳质小行星,因为这些小天体来源的有机质也具有相似的富 ^{12}C 组成。

4 地外生命的探索方向

生命的起源和地外生命的探索是科学研究的重

要内容。相关的主要研究方向有:(1) 火星探测;(2) 木星和土星的卫星探测;(3) 碳质小行星和彗星探测;(4) 陨石中有机质研究;(5) 系外行星探测;(6) 星际分子云中有机分子探测;(7) 实验室模拟反应等。可以看出,深空探测是探索地外生命的关键途径。开展地外生命的研究不仅具有重大的科学意义,同时还牵牵引深空探测的发展和技术创新。

火星是最有希望发现地外生命的天体,因此探索生命一直是火星探测的热点。火星表面极端恶劣的环境条件、大量高分辨图像的显示、以及多次着陆和巡视探测的结果等表明,火星表面不存在生命的迹象,探索生命的目标应该是次表层以下位置。在水平空间上,重要的探测区域包括古老的撞击盆地(古湖泊)、河道三角洲,特别是分布在火星南北地块交界区域的河道三角洲。如果火星现在仍有生命存在,比较大的可能性是微生物,因此需要考虑微小生物的标识探测技术,例如采用荧光原位杂交技术(FISH)标示细菌。通常认为火星早期很可能有过生命,因此探测的重点是生命的遗迹,包括可能存在的微化石、生物成因的有机质等。与火星生命相关的另一重要探测内容是古气候环境及其演化。此外,火星陨石的研究,特别是未来火星样品的采集和返回,将有可能最终发现火星生命。

木卫二冰盖下存在海洋,具备孕育生命的基本条件。木卫二成为地外生命探测的重要目标之一。NASA计划2020年发射飞船,全面探测木卫二的形貌、冰盖结构、物质组成、热辐射和磁场等,确定生命存在的可能性,并为将来探索冰下海洋生命提供依据。土卫六含有大量有机质,其甲烷等烷烃呈液态,并构成湖泊。这或许孕育一种新的生命形式。

星际环境下有机质的形成,为生命的出现准备了关键的物质基础。重要的探测对象包括碳质小行星和彗星等,这些小天体富含的水和有机质,将是未来月球基地和深空探测的重要资源,而它们本身构成了生命起源的物质基础。除了原位探测之外,碳质球粒陨石和人工采集并返回的小天体样品,将通过实验室的研究,揭示生命前有机质演化的详细过程和机制,其中各种有机化合物的H, C, N, O等同位素具有重要的指示意义。星际分子云中的有机质可能是星际尘埃颗粒表面在宇宙线的作用下形成。太空射电望远镜的运用,将有助于星际有机分子的探测。未来新一代太空望远镜的升空,将实现对系外行星

大气成分的探测,从而进一步厘清系外行星的环境,甚至识别出生命的迹象.此外,在实验室开展各种条件下有机质的合成和蚀变,也将为生命起源和演化提供重要的线索.

地外生命的探索虽然尚未证明其存在,但大量的研究和探测结果表明,太阳系的其他星球存在过满足生命孕育和演化的基本条件,这种适宜生物存

在的条件甚至现在仍然存在于火星和木卫二等星球.未来的深空探测,特别是采样返回,将很可能发现地外生命存在的确切证据.另一方面,开普勒太空望远镜发现大量系外行星,特别是有相当比例的行星位于宜居带,有力地表明宇宙中不仅存在生命,甚至在其中一些比太阳系更为古老行星系,完全可能演化出高级的智慧生命.

参考文献

- McKay D S, Gibson E K, Thomas-Keprta K L, et al. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001. *Science*, 1996, 273: 924–930
- Kirschvink J L, Maine A T, Vali H. Paleomagnetic evidence of a low-temperature origin of carbonate in the Martian meteorite ALH 84001. *Science*, 1997, 275: 1629–1633
- Valley J W, Eiler J M, Graham C M, et al. Low-temperature carbonate concretions in the Martian meteorite ALH84001: Evidence from stable isotopes and mineralogy. *Science*, 1997, 275: 1633–1638
- Harvey R P, McSween H Y J. A possible high-temperature origin for the carbonates in the Martian meteorite ALH84001. *Nature*, 1996, 382: 49–51
- Scott E R, Yamaguchi A, Krot A N. Petrological evidence for shock melting of carbonates in the Martian meteorite ALH84001. *Nature*, 1997, 387: 377–379
- Bada J L, Glavin D P, McDonald G D, et al. A search for endogenous amino acids in Martian meteorite ALH84001. *Science*, 1998, 279: 362–365
- Jull A J T, Courtney C, Jeffrey D A, et al. Isotopic evidence for a terrestrial source of organic compounds found in Martian meteorites Allan Hills 84001 and Elephant Moraine 79001. *Science*, 1998, 279: 366–369
- Bradley J P, Harvey R P, McSween Jr H Y. Magnetite whiskers and platelets in the ALH84001 Martian meteorite: Evidence of vapor phase growth. *Geochim Cosmochim Acta*, 1996, 60: 5149–5155
- Formisano V, Atreya S, Encrenaz T, et al. Detection of methane in the atmosphere of Mars. *Science*, 2004, 306: 1758–1761
- Mumma M J, Villanueva G L, Novak R E, et al. Strong release of methane on Mars in northern summer 2003. *Science*, 2009, 323: 1041–1045
- McEwen A S, Ojha L, Dundas C M, et al. Seasonal flows on warm Martian slopes. *Science*, 2011, 333: 740–743
- Ojha L, Wilhelm M B, Murchie S L, et al. Spectral evidence for hydrated salts in recurring slope lineae on Mars. *Nat Geosci*, 2015, 8: 829–832
- Núñez J I, Barnouin O S, Murchie S L, et al. New insights into gully formation on Mars: Constraints from composition as seen by MRO/CRISM. *Geophys Res Lett*, 2016, 43, doi: 10.1002/2016GL068956
- Pilorget C, Forget F. Formation of gullies on Mars by debris flows triggered by CO₂ sublimation. *Nat Geosci*, 2016, 9: 65–69
- Head J W, Neukum G, Jaumann R, et al. Tropical to mid-latitude snow and ice accumulation, flow and glaciation on Mars. *Nature*, 2005, 434: 346–351
- Holt J W, Safaeinili A, Plaut J J, et al. Radar sounding evidence for buried glaciers in the southern mid-latitudes of Mars. *Science*, 2008, 322: 1235–1238
- Cousins C R, Crawford I A. Volcano-ice interaction as a microbial habitat on Earth and Mars. *Astrobiology*, 2011, 11: 695–710
- Neukum G, Jaumann R, Hoffmann H, et al. Recent and episodic volcanic and glacial activity on Mars revealed by the High Resolution Stereo Camera. *Nature*, 2004, 432: 971–979
- Borg L, Drake M J. A review of meteorite evidence for the timing of magmatism and of surface or near-surface liquid water on Mars. *J Geophys Res-Planet*, 2005, 110: E12S03, doi: 10.1029/2005JE002402
- Hu S, Lin Y T, Zhang J C, et al. NanoSIMS analyses of apatite and melt inclusions in the GRV 020090 Martian meteorite: Hydrogen isotope evidence for recent past underground hydrothermal activity on Mars. *Geochim Cosmochim Acta*, 2014, 140: 321–333
- Grotzinger J P, Gupta S, Malin M C, et al. Deposition, exhumation, and paleoclimate of an ancient lake deposit, Gale crater, Mars. *Science*, 2015, 350: aac7575, doi: 10.1126/science.aac7575
- Bibring J-P, Langevin Y, Gendrin A, et al. Mars surface diversity as revealed by the OMEGA/Mars Express observations. *Science*, 2005, 307: 1576–1581

-
- 23 Poulet F, Bibring J P, Mustard J F, et al. Phyllosilicates on Mars and implications for early Martian climate. *Nature*, 2005, 438: 623–627
- 24 Mustard J F, Murchie S L, Pelkey S M, et al. Hydrated silicate minerals on Mars observed by the Mars Reconnaissance Orbiter CRISM instrument. *Nature*, 2008, 454: 305–309
- 25 Squyres S W, Arvidson R E, Bell J F, et al. The Opportunity Rover's Athena Science Investigation at Meridiani Planum, Mars. *Science*, 2004, 306: 1698–1703
- 26 Michalski J R, Niles P B. Deep crustal carbonate rocks exposed by meteor impact on Mars. *Nat Geosci*, 2010, 3: 751–755
- 27 Ehlmann B L, Mustard J F, Murchie S L, et al. Orbital identification of carbonate-bearing rocks on Mars. *Science*, 2008, 322: 1828–1832
- 28 Hecht M H, Kounaves S P, Quinn R C, et al. Detection of perchlorate and the soluble chemistry of Martian soil at the Phoenix Lander site. *Science*, 2009, 325: 64–67
- 29 Rodriguez J A P, Fairén A G, Tanaka K L, et al. Tsunami waves extensively resurfaced the shorelines of an early Martian ocean. *Sci Rep*, 2016, 6: 25106, doi: 10.1038/srep25106
- 30 Wentworth S J, Gooding J L. Water-based alteration of the Martian meteorite, QUE94201, by sulfate-dominated solutions. *Lunar Planet Sci Conf*, 1996, XXVII: 1421–1422
- 31 Bibring J P, Langevin Y, Poulet F, et al. Perennial water ice identified in the south polar cap of Mars. *Nature*, 2004, 428: 627–630
- 32 Plaut J J, Picardi G, Safaeinili A, et al. Subsurface radar sounding of the south polar layered deposits of Mars. *Science*, 2007, 316: 92–95
- 33 Smith P H, Tamppari L K, Arvidson R E, et al. H₂O at the Phoenix landing site. *Science*, 2009, 325: 58–61
- 34 Murray J B, Muller J-P, Neukum G, et al. Evidence from the Mars Express High Resolution Stereo Camera for a frozen sea close to Mars' equator. *Nature*, 2005, 434: 352–356
- 35 Villanueva G L, Mumma M J, Novak R E, et al. Strong water isotopic anomalies in the Martian atmosphere: Probing current and ancient reservoirs. *Science*, 2015, 348: 218–221
- 36 Stofan E R, Elachi C, Lunine J I, et al. The lakes of Titan. *Nature*, 2007, 445: 61–64
- 37 McKay C P, Smith H D. Possibilities for methanogenic life in liquid methane on the surface of Titan. *Icarus*, 2005, 178: 274–276
- 38 Mayor M, Queloz D. A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature*, 1995, 378: 355–359
- 39 Schmitt-Kopplin P, Gabelica Z, Gougeon R D, et al. High molecular diversity of extraterrestrial organic matter in Murchison meteorite revealed 40 years after its fall. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2010, 107: 2763–2768
- 40 Martins Z. Organic chemistry of carbonaceous meteorites. *Elements*, 2011, 7: 35–40
- 41 Capaccioni F, Coradini A, Filacchione G, et al. The organic-rich surface of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko as seen by VIR-TIS/Rosetta. *Science*, 2015, 347: aaa0628, doi: 10.1126/science.aaa0628
- 42 Goesmann F, Rosenbauer H, Bredehöft J H, et al. Organic compounds on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko revealed by COSAC mass spectrometry. *Science*, 2015, 349: aab0689, doi: 10.1126/science.aab0689
- 43 Mumma M J, DiSanti M A, Magee-Sauer K, et al. Parent volatiles in comet 9P/Tempel 1: Before and after impact. *Science*, 2005, 310: 270–274
- 44 Jull A J T, Beck J W, Burr G S. Isotopic evidence for extraterrestrial organic material in the Martian meteorite, Nakhla. *Geochim Cosmochim Acta*, 2000, 64: 3763–3772
- 45 Chennaoui Aoudjehane H, Avicé G, Barrat J A, et al. Tissint Martian meteorite: A fresh look at the interior, surface, and atmosphere of Mars. *Science*, 2012, 338: 785–788
- 46 Grady M M, Verchovsky A B, Wright I P. Magmatic carbon in Martian meteorites: Attempts to constrain the carbon cycle on Mars. *Int J Astrobiol*, 2004, 3: 117–124
- 47 Steele A, McCubbin F M, Fries M, et al. A reduced organic carbon component in Martian basalts. *Science*, 2012, 337: 212–215
- 48 Lin Y, El Goresy A, Hu S, et al. NanoSIMS analysis of organic carbon from the Tissint Martian meteorite: Evidence for the past existence of subsurface organic-bearing fluids on Mars. *Meteorit Planet Sci*, 2014, 49: 2201–2218

Does life exist only on the Earth?

LIN YangTing

Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

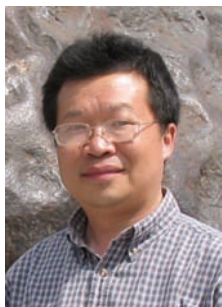
Does life exist only on the Earth? Are there extraterrestrial living things in the universe? This is a long-standing question. Although no extraterrestrial living things have been found yet, the space explorations and study of meteorites do reveal the existence of habitable environments on other planets or their satellites today or in the past. In the solar system, Mars is a planet most favoring life other than the Earth. According to the numerous explorations and studies of Martian meteorites, Mars had a wet environment in its early history, with water flowing in rivers, lakes and probably oceans. Life could survive and/or emerge under such conditions. *In-situ* analysis of water contents and H isotopes of Martian meteorites indicated the presence of underground water ~180 Ma ago, via melting subsurface glacier by magma. Moreover, high special resolution topographic images revealed recent activities of underground water on Mars. Other important targets for future exploration missions are Europa and other satellites of the giant planets, they likely have oceans under the ice crusts. On the other hand, a large number of exoplanets have been found, especially by Kepler space telescope. A part of the exoplanets probably have rocky surface and locate within the habitability zones. These discoveries further confirm the common presence of habitable planets in the universe.

Organic compounds are the building blocks of living things, and they have been found common in various primitive chondrites, carbonaceous asteroids, comets, and interstellar dust particles. The extraterrestrial organic matter is a bridge connecting inorganic matter and the origin of life. The extraterrestrial organic matter has experienced cosmic-ray and UV radiation, thermal and hydrothermal metamorphism in the solar nebula and/or in the parent bodies, and the evolution processes can be constrained by isotopic ratios of C and other elements. Organic compounds have also been found in Martian meteorites and detected *in situ* on Mars. However, their origins are still controversial, including adding by impact of carbon-rich asteroids or comets, Fisher-Tropsch-type reactions and bioenic activity. Organic carbon has been found in the recently fell Tissint Martian meteorite, with light C isotopes typical for biogenic origins.

The origin of life and the presence of extraterrestrial living things are the basic questions of science. Exploration for extraterrestrial life has the top priority in the future missions. Besides studies of paleoclimate, search for living things or possible fossils on Mars or satellites of the giant planets is the ultimate goal.

origin of life, extraterrestrial life, organic, Mars, meteorites

doi: 10.1360/N972016-00747



林杨挺

博士, 2000 年获国家杰出青年科学基金, 中国科学院地质与地球物理所研究员、博士生导师、纳米离子探针实验室主任, 中国空间科学学会常务理事, 中国矿物岩石地球化学学会陨石学与天体化学专业委员会主任。主要从事陨石学和比较行星学研究, 探讨太阳星云的物质组成与演化、月球的形成与早期历史, 以及火星的岩浆活动与古气候演化等。