

耐旱、耐低温、抗辐射能力“地表最强”，一种极限生物打开人类星际拓荒新思路

齿肋赤藓有望迈出火星移民第一步

在人类探索太空的征程中，火星一直被视作未来可能的移民地。然而，火星恶劣的环境条件给生命生存带来了巨大挑战。如何在这片荒芜的土地上建立可持续发展的生态系统，成为科学家们关注的焦点。

最近，一种具有超强环境适应能力的植物——齿肋赤藓，给出了火星移民的一种新可能：或许我们可以从重建底层生态系统开始改造一颗星球，让它渐进式地变得像地球一样宜居。



齿肋赤藓形态特征，从左到右分别为其自然生境形态、植被高度及背景火星景象。（图片来源：The Innovation, 2024；图片来源：视觉中国）

张道远 李小双 杨启林

在地球上是否存在这样一种生物，它能够耐受极端恶劣的环境，在一片荒芜的外太空行星上，开辟出一块生命乐土？

近日，中国科学院新疆生态与地理研究所的科研团队在国际综合性学术期刊《创新》上发表了一项突破性研究：一种名为“齿肋赤藓”的沙漠苔藓具有令人惊讶的超强环境适应能力，或许这就是人类寻觅已久的、那款有望成为火星移民先锋的植物。

神奇沙漠地毯 极端环境中的“生存专家”

广泛分布于沙漠的齿肋赤藓即使失去98%的细胞水分，也能在几秒内复活，且能忍受长达5年-80℃低温，还能承受5000戈瑞辐射剂量，只要生存环境恢复正常，就能再生出新的分枝。

在广袤沙漠中，齿肋赤藓常与其他微生物和藻类等共同构成生物土壤结皮。远远眺望，这层结皮宛如一片深色的沙漠地毯。它的存在，似乎无声地诉说着生命的韧性和大自然的神奇。

齿肋赤藓的中文名称巧妙地反映了其独特的叶片形态特征。作为丛藓科赤藓属的一员，它因叶片中肋呈红色而得“赤藓”之名；又因其叶中肋背面排列着如牙齿般的毛状凸起，故被冠以“齿肋”之称。齿肋赤藓广泛分布于全球干旱地区和极地等极端环境中，尤其大量存在于我国古尔班通古特沙漠和美国莫哈维沙漠。这种奇特的植物在完全脱水时呈黑色，叶片卷曲收缩；一旦接触水分，它便展现出惊人的生命力，仅需几秒便恢复翠绿，叶片迅速舒展开来。不过，它的神奇之处远不止于此。研究人员发现，齿肋赤藓能够在极端恶劣的环境中生存，包括极度干旱、严寒和强辐射等。

首先，齿肋赤藓具有惊人的耐脱水能力。即使失去98%以上的细胞水分，它也能在数秒内恢复光合作用和生理活动。这种能力被形象地称为“干而不死，死而复生”。

除了耐脱水，齿肋赤藓还表现出惊人的耐冻能力。研究人员曾将齿肋赤藓样本暴露在-80℃的超低温环境中长达5年，也曾将其在-196℃的液氮中保存1个月。结果发现，这些样本在生长条件恢复正常后仍能存活，甚至还再生出新的分枝。

更令人惊讶的是，齿肋赤藓的抗辐射能力堪称生物界翘楚。研究人员将干燥的齿肋赤藓样本暴露在不同剂量的伽马射线下，发现它能够承受高达5000戈瑞(Gy)的辐射剂量。要知道，对于人类

来说，5-10戈瑞就可能致命，而大多数植物能承受的辐射剂量不超过1000戈瑞——齿肋赤藓可以说是目前已知的抗辐射能力最强的生物之一。

多重保护修复机制 完美胜任火星“模拟生存”

齿肋赤藓之所以有潜力在火星环境中生存，与它长期进化形成的多层次保护和修复机制密切相关，包括可极高效地从大气中集水-输水的智慧“装置”、复杂的基因调控网络等。

为了进一步验证齿肋赤藓在火星环境中的生存潜力，研究团队利用中国科学院国家空间科学中心的行星大气模拟设施(PASF)对其进行火星环境模拟实验。PASF能够模拟火星表面的大气压力、气体成分、温度变化和紫外线辐射等关键环境因素。

模拟实验中，研究人员将齿肋赤藓样本置于模拟火星环境中1天、2天、3天和7天。结果显示，即使在极度干燥、低温、强紫外线辐射和缺氧的综合环境下，齿肋赤藓仍能够存活。在恢复正常生长条件后，这些样本表现出良好的再生能力，能够长出新的个体。这一结果为齿肋赤藓可在火星环境中生存提供了直接证据。

那么，齿肋赤藓是如何获得这种惊人的环境适应能力的呢？研究人员发现，这与它长期进化形成的多层次保护和修复机制密切相关。

在形态上，齿肋赤藓具有特殊的叶片结构。它的叶片可重叠排列，有效保存水分并遮蔽强烈阳光，而且叶片顶端的白色芒尖能反射强烈的太阳辐射。此外，齿肋赤藓还进化出了一种极其高效的从大气中集水-输水的智慧“装置”。它的叶顶芒尖发育出了从微米到纳米尺度的不同等级结构特征，它们完美与水分子凝结的物理过程相匹配，从而创新性地实现了“自上而下”吸水模式。正是这些特征帮助齿肋赤藓在极端干旱和强辐射的环境中生存下来。

在生理和代谢水平上，齿肋赤藓在面临胁迫时会进入一种选择性的代谢休眠状态，会保留关键代谢物质，如蔗糖和麦芽糖。这些糖类物质可作为渗透调节剂和保护剂，帮助维持细胞结构的完整性。当环境条件改善时，这些物质又可为快速恢复生理活动提供能量。

此外，齿肋赤藓还具有强大的抗氧化能力。研究发现，它能够在遭受胁迫后积累大量的抗氧化酶，有效清除活性氧自由基，降低氧化损伤。

在分子水平上，齿肋赤藓则进化出了复杂的基因调控网络。科学家在它的基因组中发现了30%左右的新基因，比

极限生物的生命启示

当我们谈论火星移民时，很容易联想到科幻电影中的宏大场景：巨大的穹顶、繁忙的大空港、茂盛的农场。然而，现实中的火星移民很可能会从齿肋赤藓这种不起眼的小生物开始。

这种微小植物所展现出的惊人生命韧性不禁让人思考：生命的极限到底在哪里？事实上，地球上存在着许多“极限生物”，它们的生存能力常常超出我们的想象，例如水熊虫、南极地衣、极端嗜热古菌等等。这些生物的存在，不仅拓展了我们对生命可能性的认知，也为寻找地外生命提供了新思路。

如果这些极端生物能在地球上存在，那么类似的生命形式是否可能在其他星球上出现？

回到火星移民的话题，齿肋赤藓为我们提供了一种渐进式的“地球化”策略。相比一步到位地改造整个星球，或许我们可以从底层生态系统开始，逐步扩大适宜地球生命生存的范围。这种方法不仅更加现实可行，也可能更符合生态系统的演化规律。然而，将地球生物引入火星也可能引发一些伦理和环境问题：我们是否有权改变另一个星球的自然状态？如果火星上存在尚未被发现的生命形式，引入地球生物会对它们造成什么影响？

这些问题需要科学界和伦理学界共同探讨。无论如何，齿肋赤藓的研究为我们打开了一扇窗，让我们得以窥见生命的无限可能。它提醒我们，在探索宇宙的过程中，有时候最小的生命可能带来最大的启示。正如美国著名科普作家卡尔·萨根所说：“我们是宇宙认识自己的方式。”

通过研究这些极限生物，人类不仅在探索移居其他星球的可能性，也在深化对生命本质的理解。

齿肋赤藓芒尖吸水现象和结构形态。（图片来源：Nature Plants, 2016）

如与胁迫相关的晚期胚胎发生丰富蛋白基因和过氧化氢酶基因扩张等。这些基因在响应环境胁迫、维持细胞稳定性和修复损伤方面发挥着重要作用。

地球“活皮肤” 可为“火表”生态系统奠基

科学家设想，未来可先将齿肋赤藓样本送往月球或火星，进行实地生存和生长测试。或许不久的将来，我们有望在红色星球上看到绿色生命的勃发。

基于齿肋赤藓展现出的超强环境适应能力，研究人员认为它有望成为火星移民的理想先锋植物。作为一种光合自养生物，齿肋赤藓不仅能够耐受恶劣环境中生存，还能产生生物量，为重建火星表面生态系统奠定基础。

作为生物结皮的重要组成部分，齿肋赤藓在地球上的干旱地区发挥着至关重要的生态功能，甚至被称为地球的“活皮肤”，在调节水文、养分循环等生态过程中起着关键作用。这些特性使得齿肋赤藓有潜力成为火星表面生态系统的奠基者。

首先，齿肋赤藓可通过光合作用产生氧气，为火星大气增加氧气含量。其次，它能够固定火星大气中的二氧化碳，有助于平衡火星大气的化学成分。此外，齿肋赤藓还能改善土壤结构，增加土壤水分保持能力和碳、氮等养分含量，为后续更高等植物定居与生长创造条件。

尽管这项研究为火星移民提供了新思路，但研究人员也强调，要在火星上建立自给自足的栖息地还有很长的路要走。科学家设想，未来可先将齿肋赤藓样本送往月球或火星，进行实地生存和生长测试。

同时，齿肋赤藓的研究也为地球上的植物抗逆育种提供了新思路。通过深

安潜/编译

近期，美国一个研究团队将一只短吻鳄的尸体沉入到墨西哥湾一处深度超过2000米的海底，并在那里架设了相机。

第二天，相机拍摄到了一幅可怕的画面：这只短吻鳄被吃得只剩一层坚硬皮肤，“食客”是一群粉红色的大王具足虫。这是一种生活在海底的潮虫，成虫能长到和橄榄球差不多大小。

这是有史以来第一次有科学家将短吻鳄投入深海，大家没有想到，短吻鳄竟这么快就被吃掉。短吻鳄在海底出现又消失的过程，展示了海底生态系统不为人知的一面，同时也揭开了一段源自恐龙时代的神秘往事。

海底“投食”实验

一个多世纪以前的自然学家就已经意识到，深海里是有生命存在的。然而直至今日，人类对这片地球上最大的生命栖息地的探索，还在不断重新定义地球生物的可能性。美国纽约州立大学的深海生物学专家麦肯齐·杰林格说：“即使已经在这个领域工作了10年，我仍会为那些生活在极端条件下的生物感到惊奇。”

在深海中，1000米之下的深海是一片黑暗世界。没有光，就意味着没有食物。在这片广袤深海中生活的动物仰仗海雪而活。海雪由死去的浮游生物和它们的粪便等有机残渣组成，它们从海面簌簌落下，连成成片地沉入海底。

很大一部分海雪还来不及沉底，在下降过程中就被吃掉，至多只有2%最终会落到2000米深的海底处。鉴于平日的食物供给是如此贫瘠，科学家相信任何大型有机物一旦落入海底必将会受到海底生物的热切欢迎。于是，美国路易斯安那大学海洋协会组织开展了这场史无前例的实验。

该协会执行总监克雷格·麦克莱恩是本次实验的组织领导者，他表示，实验目的是为了追踪爬行动物对海底生态产生的影响。短吻鳄、鳄鱼和凯门鳄是目前现存生物物种中，与侏罗纪和三叠纪时期的海洋霸王鱼龙、蛇颈龙等最为相近的，它们的尸体将对深海碳收支产生重大影响。麦克莱恩希望通过实验找到深海中那些会享用现代爬行动物的食腐动物。

白垩纪的古老食骨虫

鲸鱼死后落入海底形成的生态系

统，被科学家称为鲸落。这是一座食物丰富的“岛屿”，从食腐动物撕扯走鲸鱼的软组织，到细菌以无氧方式分解鲸骨、释放硫磺与甲烷气体，鲸落能在深海中留存数十年之久。

对于麦克莱恩团队实验中的短吻鳄尸体来说，距离生成硫磺和甲烷的阶段还为时尚早，但尸体上确实出现了一些同样会出现在鲸落周围的生物。短吻鳄的骨头上长满了毛茸茸的，像一块红色粗毛线织就的地毯。麦克莱恩说，这块“红地毯”实际上是一种食骨虫，这种生物没有嘴巴也没有胃，在其体内微生物的帮助下，靠吸收和消化骨头中的胶质为生。

2002年，人们首次在一座灰鲸遗体上发现了数十条食骨虫。起初，一些研究者以为它们只吃鲸骨，很快它们发现食骨虫会占领所到之处的任何动物骨头。

不过，究竟是先有鲸鱼还是先有食骨虫呢？为了找寻答案，科学家研究了各种食骨虫的基因序列。其中，有一种基因时钟将食骨虫的出现定位在了1.45亿年前的白垩纪时代——如果这一基因时钟是正确的，那么当时的食骨虫吃的是谁的骨头？

2015年，英国普利茅斯大学的研究团队在用CT扫描一块蛇颈龙化石时发现，化石上到处都是蠕虫钻出来的孔洞，这证实了食骨虫出现在鲸鱼之前的猜测。

连接海陆的“高速公路”

不过，动物尸体似乎并不是深海生物维持生命的唯一食物来源。除了将短吻鳄投入海底，麦克莱恩团队还在墨西哥湾投入大块木头，发现海底似乎还有专吃木头的生物——每个木块上都有大约60余种生物存在着。

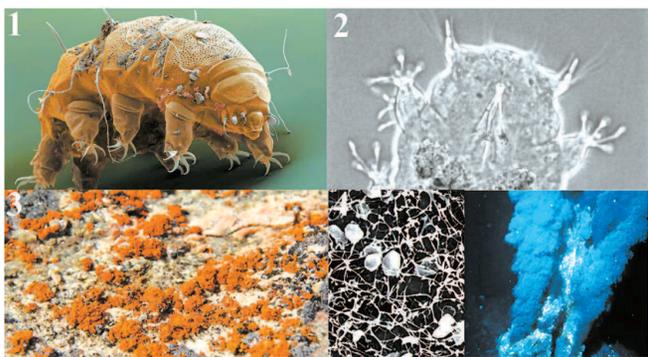
在过去的同类型实验中，麦克莱恩发现那些木头上到处都是食木海笋用自身锋利的壳钻出来的洞。这些壳后来成了海参、大螯虾和海星的居所。

而最新实验表明，陆地与海底之间的确具备一种强联系：大群生物在深海中等待着来自海岸的美食包裹——就像一条连接海陆的高速公路。

麦克莱恩团队“投喂”的另一条短吻鳄在海底仅呆了8天就消失了。从团队搜集到的线索来看，它可能是被鲨鱼一口吃走了。在墨西哥湾的深海中，有两种能长到7米长的鲨鱼——六鳃鲨和格陵兰睡鲨，“这些鲨鱼的咬合力和牙齿锋利程度，足以咬断半英寸厚的聚丙烯绳子。”麦克莱恩说。

深海生物从不浪费美食『包裹』

一项史无前例的实验揭开海底生态系统不为人知的一面



地球上的极限生物，图1、2为水熊虫；图3为南极地衣；图4为深海火山口耐高温细菌。（本版图片除注明外均作者提供）