科学研究正在为珊瑚寻找应对气候变化的新路径。尽管科研人员在不遗余力地设法保护珊瑚，但是导致珊瑚种群生存困难的根本问题在于当前气候变化速度过快。解决根源问题，即降低碳排放，避免气候变化速度过快，才能更好地保护珊瑚。

**江雷**
中国科学院南海海洋研究所助理研究员

视觉中国供图

### 让“适者生存”加速上演，为珊瑚提供应对气候变化路径

# 科学家揭示珊瑚的高温驯化适应机制

◎本报记者 **何 亮**

珊瑚作为一种海洋生物，因其缤纷的色彩、特殊的生存方式而受到人们的关注。珊瑚对生存环境的变化较为敏感、对生存环境的要求较为苛刻，气候变化影响下的水温升高会导致大量珊瑚白化死亡。

近日，生态学期刊《分子生态学》在线发表了由中国科学院南海海洋研究所黄晖团队领衔完成的论文，揭示了珊瑚应对气候变暖的驯化适应及其生理和分子机制。论文共同第一作者、中国科学院南海海洋研究所助理研究员江雷在接受科技日报记者采访时表示：“这项研究有助于我们正确认识珊瑚对海水升温的适应潜力，为人类保护珊瑚礁提供了正面、积极的启示。”

## 孵幼型珊瑚，礁体上的“拓荒者”

长期以来，珊瑚除了因为五彩斑斓的色彩而备受人们关注，关于它还有一个问题常常令人困惑——珊瑚究竟是动物，还是植物？

事实上，珊瑚是动物，是一种较低等的刺胞动物。珊瑚之所以色彩斑斓，是因为其体内生活着一种微小的藻类——虫黄藻。虫黄藻可以通过光合作用为珊瑚提供能量，保证珊瑚的生存。如果珊瑚失去虫黄藻，就会饿肚子，最终因没有能量来源而饿死。

珊瑚与虫黄藻复杂的共生关系，不仅关乎珊瑚的生存，也是科研人员研究的重点。此次研究中，黄晖研究团队主要研究的珊瑚种类是孵幼型鹿角杯形珊瑚。

“孵幼型鹿角杯形珊瑚比较特殊，是‘先锋物种’，这也是我们选择孵幼型鹿角杯形珊瑚作为研究对象的一个原因。当一个生态系统受到破坏或者干扰的时候，‘先锋物种’是最早出现的一类生物。‘先锋物种’就像‘拓荒者’一样，率先开启了生态演替和重塑生物群落的旅程。”江雷表示，“因为发育快，繁殖能力强等原因，一旦有新的合适生存环境出现，孵幼型鹿角杯形珊瑚的幼虫会最先长到礁体上开拓生存环境，并对礁体进行相应改造。之后才会有其他的生物相继进驻这一生存环境。”

选择孵幼型鹿角杯形珊瑚作为研究对象，另一个重要的原因是其对环境的适应类型。江雷介绍，在自然界，生物对环境的适应有两种不同类型：一种类型称作表型可塑性适应，即生物的生理过程是弹性可变的，生物通过调整机能适应环境变化；另一种类型称作进化适应（又称遗传适应），即生物在许多世代中由自然选择进行演化、筛选，最终完成对环境变化的适应。

“我们选择表型可塑性适应来进行研究，是因为对这种适应类型的研究时间周期较短，容易捕获研究结果，显现成果差异。”江雷表示。孵幼型鹿角杯形珊瑚的繁殖方式是体内受精，幼体在母体内发育，发育成为幼虫之后，再由母体排出体外。孵幼型鹿角杯形珊瑚排放出来的幼虫发育周期在1个月左右，是卵生型珊瑚的十分之一。

## 开展对比实验，揭示生理调节机制

在中科院南海海洋研究所的实验室里，一排排灯光格外显眼。光线照射下，颜色各异的珊瑚生活在人工营造的生态系统里。江雷等科研人员对孵幼型鹿角杯形珊瑚的驯化实验也正是在这里进行。

“在野外，珊瑚生存的正常水温是29摄氏度。我们通过温控系统，将珊瑚缸中的水温以每天约0.5摄氏度的速度进行提升。大约一个星期后，珊瑚缸中的水温会升至32摄氏度，并保持此温度。此次研究中的孵幼型鹿角杯形珊瑚幼虫，正是在上述高温环境中完成在母体珊瑚体内的发育和出生。”江雷说。

在长达1个月的研究中，科研人员观察到了很多现象。经过高温驯化后，孵幼型鹿角杯形珊瑚母体的代谢受到了不利影响，不仅光合作用降低，还发生了白化现象。可是，驯化组子代幼虫的表现却不一样，与对照组子代幼虫相比，经过高温驯化的子代幼虫能适应更高的水温，其最适生存温度有了明显提升，对高温的适应性得到了增强。江雷表示：“这说明，仅仅一个月的驯化就对子代幼虫的表型产生了较为明显的影响。”

仅凭一组数据，尚不足以得出定论。接下来，科研人员又进行了交叉移植实验。科研人员分别将经历了驯化组的幼虫和对照组的幼虫置于对照温度与高温环境。对比的结果与此前的结论较好地吻合，证明珊瑚母体的热驯化缓解了高温对子代幼虫的不利影响。

“上述现象背后，是珊瑚幼虫生理状态的调整。”江雷表示，在驯化之后，幼虫的虫黄藻的光合活性与光合速率得到了提高。幼虫的虫黄藻变得更强大，对高温的适应能力也更好。与此同时，幼虫的呼吸消耗降低了。这就意味着，幼虫能在获得更多营养物质的同时，支出更少的能量消耗。

“这一生理调节机制对珊瑚幼虫来说，可谓是大有裨益。”江雷表示，处于浮游阶段的幼虫，能量物质的补充全部依赖于虫黄藻的光合作用。如果生产得多且消耗得少，幼虫的能量储备就会更加充足，也会利于其生存。

此次研究中，科研人员还发现，驯化后的珊瑚幼虫中负责从虫黄藻转移脂类、糖类和氨基酸等营养物质的宿主转运蛋白基因表达也发生了显著上调，与此前发现的相关生理机制相符。

## 发挥科技力量，提供更多拯救路径

在气候变化影响导致水温升高、威胁珊瑚种群生存的当下，我们能否利用科技找到更多拯救珊瑚种群的路径？

“在气候变化越发明显的当下，每一次海洋热浪事件都相当于对珊瑚的一次驯化。”江雷表示，在未来，野外环境中的驯化事件及其引发的适应效应将会越来越多。

在我国，珊瑚修复工作正在如火如荼地展开。借助中国南海相对于其他珊瑚生活海域位置偏北的地理位置优势，我国科研人员在三亚、西沙等潮间带浅水区的极端生境中寻找能够存活下来的珊瑚，并将它们移植到实验室进行选育扩繁，最终把这些珊瑚再次回植到天然的生境中。

“此次研究的孵幼型鹿角杯形珊瑚，也来自生境恶劣的潮间带。”江雷表示，在海底种珊瑚与在陆地上植树造林有一定的相似之处，却比在陆地上植树造林辛苦得多。科研人员要背着数十斤重的装备在水底打桩固定，水下失重的环境也让工作难度大大提升。

此次研究的论文通讯作者、中国科学院南海海洋研究所热带海洋生物资源与生态重点实验室研究员黄晖介绍，截至目前，南海海洋研究所共建设了40亩苗圃，一年可产出约7万株珊瑚苗；还建设了300亩的修复区，扭转了实验依靠野外采苗的现状。目前，科研人员播种到海床的珊瑚苗均出自人工培育。

“尽管科研人员在不遗余力地设法保护珊瑚，但是导致珊瑚种群生存困难的根本问题在于当前气候变化速度过快。”江雷表示，科学研究正在为珊瑚寻找应对气候变化的新路径，而解决根源问题，即降低碳排放，避免气候变化速度过快，才能更好地保护珊瑚。

### 基于考古学、遗传学和基因组学证据，对19种作物的重点解析发现

# 小麦等4种作物传入我国的时间早于丝绸之路

◎本报记者 **赵汉斌**

丝绸之路促进了沿线不同国家、民族之间的互相沟通，推动了东西方的双向文化交流。丝绸之路对农业方面产生的影响同样十分深远，绵延至今。

数千年来，陆上丝绸之路上的作物交流，一直是一个重要而迷人的科学问题。各种作物是如何沿着陆上丝绸之路迁移传播的，也一直存在争议。

近日，基于考古学、遗传学和基因组学证据，中国科学院昆明植物研究所博士王广艳等研究人员整合了陆上丝绸之路207种作物的传播路线，并对具有基因组学证据的19种作物的传播路线进行了重点解析。相关研究成果在线发表于期刊《BMC植物生物学》。

## 陆上丝绸之路是东西方作物传播的通道

陆上丝绸之路途经许多生态环境脆弱的地区和关键生物多样性热点地区。在陆上丝绸之路这一漫长的道路沿线，有超过4138种动物和7371种植物繁衍生息。

大约1万年前，人类驯化了小麦、马铃薯、水稻、玉米等农作物。以驯化这些农作物为重要标志，人类的生产、生活方式发生了巨大的改变。在欧亚大陆的东西两侧，分别出现了世界上最早的两个驯化中心。大麦和小麦在西亚肥沃的新月形地带，即新月沃地驯化；而水稻和粟分别在中国的长江和黄河流域驯化。

公元前138年张骞出使西域，标志着丝绸之路的开辟。丝绸之路的开辟将东亚和中亚联系在了一起。在张骞出使西域后，横跨欧亚大陆的交流网络得以贯通，增强了中国与中亚、西亚、欧洲各国的交流。

“作物交流是丝绸之路中西方交流的重要内容，对丝路沿线各国人民的生产、生活产生了重要的影响。”论文通讯作者、中国科学院西双版纳热带植物园主任、研究员杨永平表示，一方面我国传统农业作物的对外传播，深刻影响了世界农业的发展；另一方面，其他区域的作物传入我国，也影响了我国的作物种植结构、作物多样性、饮食文化和物质生活。

随着丝绸之路贸易往来的扩大，一些作物在东亚和中亚之间得到了传播。水稻、大豆和桑葚等作物从中国传播到中亚，而棉花和甘蔗等作物从中亚传播到中国。然而，由于考古学和遗传学之间的证据冲突，对于许多作物的迁移过程仍存在很多争论。

## 对19种作物传播路线与丝绸之路关系进行分析

此次研究中，研究人员发现，青稞、芥菜、莴苣、荞麦、鹰嘴豆5种作物的基因组证据，与考古学和遗传学证据存在明显的冲突。资料和数据的不全面、不同时期记录的差异以及数据分析技术的差异，可能是导致这种冲突的主要原因。

而大麦、小麦、枣、开心果、蔓菁、苜蓿、胡桃、西兰花、葡萄、菠菜、苹果、黄瓜、桑树、豌豆14种作物，其基因组学证据与考古学和遗传学证据一致。

“我们进一步分析了上述19种作物的传播路线与陆上丝绸之路的关系，发现青稞、大麦、小麦、枣4种作物传播到我国的时间早于丝绸之路。”王广艳说。以青稞为例，考古学和遗传学的相关证据表明，我国西藏可能是其驯化中心。基因组学证据表明，在4500年—3500年前，青稞已经从西亚的新月沃地，通过巴基斯坦北部、印度、尼泊尔，传入我国西藏的南部，并逐渐成为青藏高原上的主要粮食作物。

同时，基因组学证据显示，大麦于6000年前从上约旦河谷传入我国、小麦则是于5500年前后从上约旦河谷抵达中亚的西天山山麓地带，然后在5200年前由中亚早期农牧人群携带，经西天山北上进入我国新疆阿尔泰地区。

枣树是我国特有的多年生树种，已有长达7000年的栽培历史。根据考古和典籍记录，早在公元前100年左右，枣树就已经从我国传入朝鲜、日本及其他邻国，然后沿着丝绸之路扩散到欧洲。种群基因组分析结果表明：山西、陕西一带是枣树栽培的起源地，陕西地区对枣树的栽培要晚于山西地区，华东、华南地区则更晚。

## 新知

### 射齿目新种帽天山开拓虾 为奇虾类起源与演化提供参考

**科技日报讯** （记者**张晔**）出现于5亿多年前的奇虾，是最早称霸海洋的大型掠食动物和顶级捕食者。近日，中国科学院南京地质古生物研究所的科研人员对该所馆藏的一块奇虾化石深入研究后认为，该虾属于一个新属新种，并将其命名为帽天山开拓虾。相关研究成果近日在线发表于《地质学会会刊》。

奇虾类出现于寒武纪早期。奇虾外形怪异，最大体长超过2米。奇虾的头部由一双复眼、一对多刺的掠食型前附肢以及一只辐射状的口器等器官构成，躯干上长有一系列成对的桨状叶和鳃片，尾部有一至三对尾扇。目前为止，奇虾类所在的射齿目已发现20多个属、30多个种。尽管如此，奇虾类完整保存的化石标本仍非常稀少，其系统演化关系也尚未得到很好的解析。

1994年，中科院南京地质古生物所陈均远团队找到了两块完整的澄江动物群奇虾类化石，并将相关研究结果发表于《科学》杂志。其中一块在云南澄江帽天山发现的奇虾标本，正是此次研究中的一个对象，已成为澄江动物群的标志性符号之一。

此次研究中，南京古生物所朱茂炎研究员团队的副研究员曾晗、研究员赵方臣等对包括这块完整的奇虾类标本在内的相关奇虾化石进行了精细的形态解剖研究。研究人员发现，这只“明星虾”展现出了包括肠道、肌肉等精美的软躯体生物学特征，同时也展示出了奇虾类头部前附肢、眼睛、头壳等构造之间的空间关系，以及颈部、桨状叶等部位的解剖细节。它的前附肢形态、桨状叶数量、尾扇组成等特征均不同于其他已命名的奇虾类属种。

因此，帽天山开拓虾不属于已知奇虾类四个科中的任何一个，其演化位置位于非赫德虾类的基部或赫德虾科的基部，靠近赫德虾科和非赫德虾类的分异点，即接近奇虾类演化树的根部。研究人员认为，帽天山开拓虾为奇虾类的起源和演化提供了一个重要参考点。

### 水分、养分利用互补策略 助兰科植物花维持寿命

**科技日报讯** （记者**张盖伦**）兰科植物花寿命的维持对于吸引特定的传粉者至关重要，很多兰科植物利用延长花寿命的方式来提高繁殖成功率。但目前为止，人们对兰科植物维持花寿命的机制仍知之甚少。

近日，记者从广西大学林学院了解到，该校植物生理生态与进化研究团队联合中国科学院昆明植物研究所、广西农业科学院花卉研究所，以兰科石斛属23个种/品种的植物为研究材料，揭示了兰科植物花寿命维持的生理机制，为长寿命花的兰科新品种的繁育提供了理论支持。相关研究结果发表于国际期刊《实验植物学杂志》上。广西大学林学院助理教授李佳蔚为论文的第一作者，广西大学林学院教授曹坤芳与中国科学院昆明植物研究所研究员张石宝为论文通讯作者。

此次研究结合花寿命监测、花形态解剖、花水力学参数及广泛靶向代谢组学测定等方法，阐明了水分和营养性状的相关关系，揭示了长寿命花品种发育过程中水分与养分的相关变化。

研究发现，石斛属23个种/品种的花在寿命上差异较大，寿命分布范围为5—51天之间。花寿命与花被的单位面积干重和总花生物量相关，这表明维持花寿命需要增加相关资源投入。在长寿花的发育过程中，花的唇瓣表现出较高的储水能力和养分再利用能力，在一定程度上弥补了较高的需水量和生物量投资。相比之下，花的萼片和侧瓣具有较强的抗失水性与较高的代谢活性，且建成投入较少。

研究结果表明，兰科石斛植物花通过萼片、侧瓣和唇瓣的水分和养分利用策略互补来维持较长的寿命，唇瓣通过消耗更多的水分和养分来延长花的展示时间，而萼片和侧瓣则采用较为保守的策略。不同花被结构单元之间的水分和养分利用互补策略，有助于维持长寿花的寿命。

### 仿生人造白膜补片 成功恢复动物的雄性功能

**科技日报讯** （记者**叶青**）近日，华南理工大学材料科学与工程学院施雪涛教授研究团队研发出了一种微结构仿生的人造白膜补片。研究团队通过合成水凝胶模拟天然白膜双层弯曲取向的纤维结构，让人造白膜补片获得了与天然白膜相似的力学特性，在阴茎白膜缺损的巴马猪模型上取得了良好的修复效果，恢复了巴马猪的雄性功能。相关研究成果发表于期刊《物质》。

施雪涛表示，白膜是一种双层结缔组织，由外纵层和内环层组成。其主要成分是卷曲和平行的胶原纤维，以及嵌入其中的弹性纤维。研究团队发现了阴茎白膜的独特结构以及这种结构在阴茎勃起中发挥的作用，因此决定将其作为承重结缔组织的代表进行研究。

此次研究中，研究团队首先将聚乙烯醇溶液经历多次冷冻、融解循环，制成了多孔的、各向同性的水凝胶片。得到的水凝胶片在经过干燥、复水等步骤后，实现了类似于天然白膜中弯曲定向的纤维结构。下一步，研究团队在巴马猪阴茎模型上验证修复效果。实验结果表明，人造白膜补片可以在植入后发挥类似天然白膜的功能。

体内和体外的相关实验均表明，此次研究中的人造白膜补片具有一定的生物相容性，对猪白膜的损伤修复表现出了良好的预后效果。施雪涛表示：“这种人造白膜补片可以减少与白膜损伤修复相关的急性和长期并发症，或将引领一种针对白膜缺损的新型治疗方案。”

“目前我们主要针对白膜这一单一组织类型进行研究。在未来，我们希望对男性生殖系统进行更加系统化的研究，以期实现阴茎和睾丸在器官层面上的功能模拟以及体外重建。”施雪涛表示。