

脊椎动物登陆迈出从鱼到人关键一步

□ 冯伟民

伴随着无脊椎动物的登陆，海洋鱼类分化出来的肉鳍鱼类中一支也成功登上陆地，最重要的登陆发生在距今约3.6亿年前的泥盆纪晚期，一些勇敢的肉鳍鱼（硬骨鱼的一个分支）爬上了陆地，即“鱼石螈类四足动物”。

鱼石螈的一小步，却是包括我们人类在内的脊椎动物演化的一大步。鱼石螈等早期四足动物保留了鱼形尾，但已拥有具多趾的四肢。它们在陆地上行走时显得很笨拙，可能更多的时间是在水中游泳或水底爬行。

脊椎动物登陆离不开地球环境巨变带来的推动。约4.2亿年前，劳亚古陆、波罗地古陆、阿瓦隆尼亚古陆发生碰撞。在这次地壳变动中隆起的巨大山脉阻挡了云层，带来充沛的雨量。不久，得到滋润的大地上出现了河流，大洋中的鱼类开始侵入淡水河流。斯堪的纳维亚山脉和阿巴拉契亚山脉作为远古时期留存下来的巨大山脉，或许见证了鱼类登上陆地的第一步。泥盆纪早期大气氧含量的明显上升，也是鱼类登陆的关键因素。

脊椎动物从水生到陆生是生命史的一次飞跃，但不是一蹴而就的，而是经历了一个艰难而壮丽的过程，需要克服包括呼吸系统、运动系统和支撑系统等一系列的困难，突破陆地生活带来的一系列重要影响，实现开辟新的天地。

科学家研究表明，鱼类能够离开水，可能与4次重要演化事件有关，如鱼类具颌带来新陈代谢的革命、硬骨鱼类骨骼的支撑作用、偶鳍内骨骼的爬行功能和内鼻孔



四足动物登陆

的呼吸效果。

在4.2亿年至3.6亿年前志留纪到泥盆纪期间，有颌鱼类的出现改变了靠寄生或以滤食为生的取食方式，表明鱼类从此拥有了主动捕食的能力，在整个演化链上拥有了更大选择权，可以适应更多生活方式，这为以后水生演化带来更大好处。

随着时间的流逝，有颌鱼类中的重要一支演化成了硬骨鱼类。硬骨鱼类全身的骨骼变得更加坚固，为上岸生存提供了更多可能。硬骨鱼类中有一分支叫肉鳍鱼

类，其偶鳍（或对的肉鳍）中有内骨骼，起着支撑自己的身体的功能，成对的鳍已经具备特化的内骨骼与肌肉，可以在水底进行简单的“行走”。指（趾）骨是四足动物出现的一个标志，泥盆纪四足动物演化出6-8个指（趾）头，图拉螈6个，鱼石螈7个，而棘螈则有多达8个指（趾）头。泥盆纪之后，四足动物才固定到了5个指（趾）头。为了有效地支撑身体，肩带和腰带在登陆进程中也有了很大幅度的改变。

肉鳍鱼有很多不同类型，但最后只有一支成功爬上陆地，形成了现在的四足动物。这一支肉鳍鱼和其他的肉鳍鱼有什么不同呢？科学家发现，内鼻孔结构的出现是四足动物形成的先决条件。因为上岸就要呼吸，而鱼是用鳃呼吸的，它们原来的鼻孔是两个外鼻孔，不是呼吸器官。因此，为了解决在水中呼吸转变为在空气中呼吸，还得依赖内鼻孔的出现。鱼类在头的两侧各有两个鼻孔，前面的是进水孔，后面的是出水孔，里面与嗅囊相通，但与口腔或咽喉没有任何联系。换句话说，鱼类的“鼻子”只有嗅觉功能，而没有呼吸功能。四足动物只有一对外鼻孔，不过在鼻腔内部，还有一对开孔，成为鼻腔与口腔之间的通道，这就是内鼻孔。

内鼻孔的出现，使外面的空气能顺利地进入肺，保证了动物对氧气的需要。当口闭合或取食时，鼻子就成为四足动物呼吸的唯一通道。

科学家研究发现，这支肉鳍鱼类除了有内鼻孔外，一些与陆地生存相适应的其他结构也逐渐演化出来。如内耳附近颅

顶区域有一个很大的喷水孔，这个喷水孔开始是没有用的，但它恰恰就是四足动物听觉器官中耳的前身。

当四足动物具备了登陆的生物学基础时，环境演化产生的动力因素起了直接的催化作用。一般认为，鱼类进化出四肢，进而登上陆地，其原因可能是为了躲避捕食者的追捕。因为那个时代的淡水水域里，存在着早期四足动物、与四足动物相似的鱼类等。此外还有众多以它们为食的大型肉食鱼类等捕食者。显然，泥盆纪的河流、湖泊乃是肺鱼等凶猛的肉食鱼类所统治的世界。

另外，随着植物与无脊椎动物的登陆，陆上或水边出现了丰富的尚未开发的食物来源和生态位，鱼类登陆是为了逃离水中的生存竞争，探索新的生态机遇。

总之，当3.5亿年前远古鱼类离开海洋，登上陆地，成为有四肢的脊椎动物，迈出了“从鱼到人”这数亿年生物演化中极为关键的一步，乃是动物进化史上的大事件，它为生物的发展开拓了一个全新的生态空间，并从早期四足动物逐渐演化出两栖动物、爬行动物、鸟类和包括人类在内的哺乳动物，拉开了陆栖动物大繁荣的序幕。

（作者系中国科学院南京地质古生物研究所研究员、南京古生物博物馆名誉馆长、中国科普作家协会副理事长）

进化杂谈

今年的诺贝尔化学奖颁发给了两位女科学家——埃马纽埃尔·卡彭蒂耶（Emmanuelle Charpentier）和詹妮弗·杜德纳（Jennifer A. Doudna），以表彰她们开发了被誉为“上帝的手术刀”“基因魔剪”的CRISPR/Cas9基因编辑技术。

CRISPR即成簇的规律性间隔排列的短回文重复序列。Cas是CRISPR关联基因的缩写。CRISPR最初由日本科学家在大肠杆菌中发现，后来被证明广泛存在于约45%的细菌和约90%的古细菌中，是其抵御噬菌体入侵的重要武器。当噬菌体第一次感染细菌时，细菌的Cas1和Cas2蛋白会将噬菌体的一小段DNA片段整合到自己的重复序列区中，成为一个新的间隔序列。待同一种噬菌体再次来袭时，病毒DNA被间隔序列转录的guide RNA识别，并激活Cas核酸酶，切断噬菌体的DNA双链，从而守护自身安全。利用此原理，科学家可以实现对研究对象某一特定序列的靶向敲除、敲入等。

CRISPR/Cas9系统可分为三类，其中CRISPR/Cas9结构和操作更简洁，由guide RNA引导Cas9核酸内切酶进行靶向基因编辑，自2013年首次运用到真核生物基因编辑以来，发展迅速，曾于2013年、2015年两次被《科学》杂志评为当年十大科学突破，摘得诺奖桂冠。

目前关于CRISPR基因编辑技术的报道多集中于人类医学（处于实验室研究阶段）和线虫、拟南芥、果蝇、斑马鱼、小鼠等模式生物。那么，这把“上帝的手术刀”在海洋生物中的应用取得了哪些进展呢？

构建海洋模式生物与疾病模型
将CRISPR基因编辑技术运用于海洋生物的最早报道可追溯至2014年。这一年，Sasaki、Stolfi等人均以海洋模式生物——玻璃海鞘（*Ciona intestinalis*）为研究对象，利用CRISPR技术先后实现了Hox基因定位和cbf基因定点突变。

Hox基因是一种动物基因组中高度保守的发育调控基因，在动物体轴形成过程中起重要的作用。cbf基因可在胚胎发育过程中决定细胞命运。这两种基因突变的玻璃海鞘模型可用于探究脊椎动物身体形成的分子机制。2016年，Nymark等将CRISPR技术运用到了海洋藻类中，成功敲除了三角褐指藻（*Phaeodactylum tricorutum*）的CpSRP54基因。CRISPR技术为海洋生物模型构建提供了新的视角，加快了科学家探索海洋生物起源与演化的步伐。

培育海洋经济新品种
海产鱼虾贝蟹是我们饮食中重要的蛋白质来源，而良种的培育能促进海水养殖业快速发展。基因编辑技术在新品种培育中具有诸多优势，如育种周期短、靶向性强、比转基因技术安全性高等，有着广阔的应用前景。

2019年，Kim等将肌生成抑制素（PoM-STN）基因相关基因编辑组件通过显微注射导入牙鲆（*Paralichthys olivaceus*）胚胎中，经过筛选，得到了杂合双等位基因突变体。突变体身体增厚，肉更加肥满。

今年，来自河北大学的研究生利用CRISPR/Cas9技术敲除了脊尾白虾（*Exopalaemon carinicauda*）的类胡萝卜素合成酶（EcninaB-X1）基因，发现突变体在受到副溶血性弧菌或嗜水弧菌的攻击时存活率明显高于野生型；同年又敲除了另一个类胡萝卜素合成酶基因EcbCO2，突变体具有更高的抗病性，为培育抗病抗逆对虾新品种提供了新思路。

解析海洋生物基因功能
解密基因的功能是解读生命这部“天书”的先决条件，基因编辑技术为科学家提供了破解的绝妙手段。2014年，Nakanishi等人将CRISPR技术首次运用于甲壳动物，使得大型溞（*Daphnia magna*）的pax6基因失活，证明了该基因在眼发育中的关键作用。2019年，Liu等人成功敲除海胆的聚酮化合物酶1基因（Psk1），突变个体表现为白化。

需要承认，基因编辑技术在海洋生物的应用仍处于初级阶段，受到海洋生物材料本身（如显微注射后的受精卵孵化率有待提高、海洋生物细胞系数目较少等）、CRISPR系统脱靶问题等方面的制约。但毫无疑问，海洋生物基因编辑领域的前途是光明的，我们会不断有理由相信科研工作者们会不断创新，成功解决上述问题，取得海洋生物基因编辑领域的一个又一个成就！

（中国科普作家协会海洋科普专业委员会供稿）

上帝的手术刀 对海洋生物做了啥

□ 张天琦

“造纸巧匠”带铃腹胡蜂

□ 文/图 顾卓雅

在一个天气晴好的傍晚。正当我在阳台上吹着凉风，眺望大海时，突然发现，天上怎么垂下来一根麻绳？

仔细看去，麻绳上还有很多小家伙在忙碌地爬来爬去，不时腾空而起，绕绳盘旋。好嘛，家里长马蜂窝了。可是，马蜂窝通常是扇形的，胡蜂窝通常是球形的，这个麻绳形的窝是什么情况？

研究一番发现，这原来是带铃腹胡蜂一家子。带铃腹胡蜂属于胡蜂科马蜂亚科铃腹胡蜂属，腹部有两节长成圆筒的铜铃状，由此得名。铃腹胡蜂属有近200个不同的种，体长通常小于1厘米，广泛分布在亚洲和非洲的热带地区。相较而言，胡蜂科的有些成员体型大很多，比如金环胡蜂的体长可以达3.5厘米以上。

带铃腹胡蜂属于“纸黄蜂（paper wasps）”，这是指它们独特的造纸技巧，用植物纤维和唾液混合成木浆做出结构各异的纸巢。虽然比起亲戚蜜蜂的蜂巢，纸巢常常灰头土脸，松松垮垮，但也足够坚固，而且轻便耐用。

对于带铃腹胡蜂的纸巢为什么要做成长条形，目前有很多猜测。

一种解释认为，由于弱小的带铃腹胡蜂容易被蚂蚁等捕食者袭击，蜂巢基部只用一个小柄固定，可以形成一个易守难攻的“独木桥”，让蚂蚁这样靠数量碾压的袭击者无法有效进攻。

另一种解释认为，竖立的巢也便于弱小的蜂群起飞和逃跑。比如当我家这个巢被捅的时候，所有的蜂都在一瞬间飞离了蜂巢。

还有研究者认为，这是出于建筑学的平衡考虑。对于从一个柄垂下来的结构，往底部增加巢室是最容易保持平衡的，因为向左或向右加都有可能导致重心偏移。

虽然蜂巢大多为长条形，但在不同地区，巢的选址会有区别。有研究发现，日本绳绳的带铃腹胡蜂在禾本科植物叶片上

筑巢，而台湾的带铃腹胡蜂则喜欢在树枝上筑巢。研究者认为，冲绳的带铃腹胡蜂的蜂巢选址可能是出于对抗台风的考虑，因为柔韧的叶片可以充当缓冲和防护。

更有趣的是，带铃腹胡蜂还会在蜂巢不远处建造一些卫星巢，以备不时之需。当蜂巢被袭击或摧毁，或者自己住厌了旧巢，就可以从容搬家新家了。

与蜜蜂唯女王独尊的王朝不同，带铃腹胡蜂的社会结构更像合伙公司，创始合伙人之间的关系都比较平等。这些创始合伙人是一个季节最先离开原来蜂巢的几只雌性，她们共同创立最初的巢穴，被称为“奠基者”。

“奠基者”的蜂生道路掌握在自己手中，她们出生时既可以选择留在娘家工作，也可以选择白手起家，建造自己的王朝。为了便于管理，“奠基者”中也会产生一个名义上的女王，担任蜂巢警戒和引导蜂群行为，但她的发号施令常常会被其他蜂忽略。

虽然蜂群没有拥立“女王”，但也会分工为保姆、战士和觅食者，分别负责照顾幼虫、维持巢穴和寻找食物。其中，保姆和战士都保留了生殖能力，让群体等级结构更具灵活性，以应对恶劣的环境。而在蜜蜂群体中，只有蜂王有生殖能力，能与雄蜂交配产生后代，工蜂则不具备生殖能力。

至于我家阳台上的蜂巢，最终还是没能逃过被铲除的命运。但是三个月后，我在旁边阳台上发现了它们的另一根蜂巢，已达到了原来的长度，或许这是从一个卫星巢发展而来的。原来的旧巢遗址也没有被抛弃，而是在此基础上重建了新的巢室。真是一群坚忍不拔的小家伙。

物种小档案
带铃腹胡蜂，学名Ropalidia fasciata，属于胡蜂科马蜂亚科铃腹胡蜂属，分布于印度、台湾和印度尼西亚等地，北至琉球群岛，由林奈的学生Johan Christian Fabricius在1804年命名。

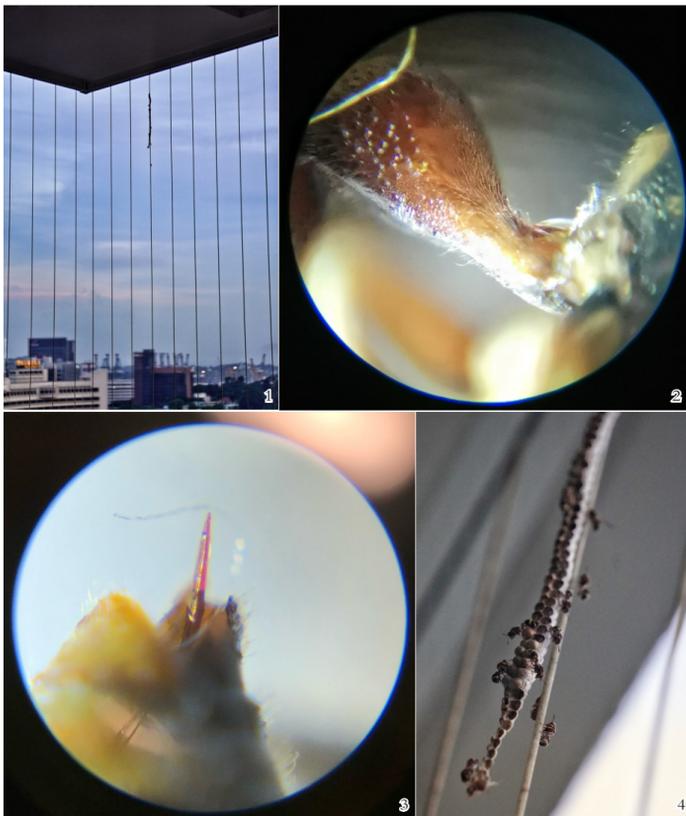


图1：阳台铁丝网上的“麻绳”。图2：带铃腹胡蜂放大60倍的腹部。图3：虽然不是好斗的蜂类，但还是装备有尖锐的蜂针。图4：纸巢特写。

吉祥昂扬鸡冠花

□ 付秀宏

鸡冠花儿傲然开，捧出殷红舞徘徊，济困帮贫真情在，一柱一顶竟光彩。鸡冠花，又名红鸡冠、鸡公花、鸡髻花、笔鸡冠、芦花鸡冠、小头鸡冠、凤尾鸡冠、大鸡公花、老来红等，为一年生草本植物。硕大的大红花冠，以泼辣俗艳、意味丰满著称。原产印度，后引种到我国，至明代已普遍栽植。鸡冠花为穗状花序，上缘有褶皱，排布着线状的鳞片。秋冬季花盛时采收，除去杂质及残茎，切段晒干。

鸡冠花，常栽种于花坛公园、街边路旁和墙角门外。每年7—12月，花期漫长的鸡冠花先后绽放。浓艳厚实，红红火火，隆重而质朴。看着鸡冠花的大红花冠，很快能生出几分俗世的温暖来。鸡冠花生机勃勃、热闹火爆，给点儿阳光就灿烂。《本草纲目》有曰：“鸡冠花大有围一二尺者，层层卷出可爱。粒在穗中，黑细光滑，与苋实一样。其穗如枇杷状，花最耐久，霜后始落。”

因“鸡”与“吉”音相近，鸡冠花寓意鸡（吉）上加冠（官），红火的花色、昂扬的姿态、坚韧的生机、吉祥的寓意，令齐白石、吴冠中、陈大羽、晁谷、万弘巍等著名画家——每每取其吉祥美意进行创作。这正是：金风乍起，群枝炫采，如莺盈枝。强项独发，傲骨生姿。瘦梗寒条，不比芙蓉寂；疏根朗叶，指篱菊思绪。众卉凋谢，凉飕凛凛，风霞飘零，鸡冠摧之不能摧，欺之不可欺。

鸡冠花的花形，像极了大公鸡的鸡冠；在阳光照耀下，像燃烧的火焰，夺人

眼目。可走到近前细看，发现鸡冠花瓣肥厚，有的大花甚至长于茎高，样子非常夸张；一些小花，则长在茎与叶的交界处，恰如大公鸡带着一些小公鸡高歌。在强风中观看鸡冠花，非常有趣。风动之时，两花冠相倚，似公鸡阶前欲斗的生动情状，紫红色的鸡冠不断摇曳。“高冠红突兀，独立似晨鸡”，欣欣然勾起了我童年的记忆。

小时候，爸爸告诉我，院子花畦里的鸡冠花是红火日子的象征，是心情愉悦的表达，叮嘱我一定要养护好。依然记得，我家院子靠墙边有一棵枣树，紧挨树的墙边就是一片鸡冠花畦。鸡冠花站在那里，目光炯炯有神，高举着红色信仰。因为我家有好多年的鸡冠花，妈妈送给街坊邻居不少株去移栽，我说：“这不仅仅是送花，而且是送吉祥啊！”爸爸说：“这话头好，无论哪家，皇帝即命他续诗，诗中必须出现‘胭脂’‘五更’等词语。解解随口答道：“鸡冠本是胭脂染……”未及下句出口，皇帝却狡黠地拿出一支白色鸡冠花，举在眼前，解解微微一笑，继续续诗：“今日为何淡淡哉？只因五更贪报晓，至今戴却满头霜。”

芬芳浓艳胜诸花，似汝娇红爱愈加。鸡冠花的文化情韵，让人感到风雅至极，妙不可言。（作者系河北省作家协会会员）

美妙至极。鸡冠花可以直接食用，不仅营养丰富，还有很好的滋补效果。且还能炒菜，制作成糕点，如美味的鸡冠花豆糕、鸡冠花籽糕等等。后来才知道，唐代薛涛所制的精致薛涛笺中，亦有鸡冠花的成份。原来鸡冠花的娇嫩，在花样造纸中已然出彩，花笺笔墨里闪烁着不可多得的智慧。

鸡冠花并不只是红色一种，还有黄、紫、白、橙等颜色。有关白鸡冠花，还有另一段轶闻：明代才子解缙才学过人，深得皇帝赏识。有次皇帝和他在花园赏花，皇帝看到红色鸡冠花，随口吟出一首小诗：“秋光烂漫眼沉迷，着叶婆娑似碧鸡。精彩十分伴欲动，五更只欠一声啼。”解缙连连叫好，皇帝即命他续诗，诗中必须出现“胭脂”“五更”等词语。解解随口答道：“鸡冠本是胭脂染……”未及下句出口，皇帝却狡黠地拿出一支白色鸡冠花，举在眼前，解解微微一笑，继续续诗：“今日为何淡淡哉？只因五更贪报晓，至今戴却满头霜。”

芬芳浓艳胜诸花，似汝娇红爱愈加。鸡冠花的文化情韵，让人感到风雅至极，妙不可言。（作者系河北省作家协会会员）

花苑世界



图为热情如火的鸡冠花。 韩凤平 摄

