

不会说话却秩序井然？解密蚂蚁社会“文明”

□ 丁果 刘薇薇 冉浩

蚂蚁，这类大家随处可见的微小昆虫，已有超过1.5万个现生物种，广泛分布在除极地之外的所有陆地生态系统中，成为陆地生态系统中举足轻重的力量。

蚂蚁因何如此成功？蚂蚁社会又是如何演化形成的？为了回答这些问题，我们团队主导、联合其他中外团队展开了近10年的研究，相关研究成果于6月16日在国际期刊《细胞》上发表，给出了系统的解答。

》》》 蚂蚁社会形成的基础

群体生活是蚂蚁成功的倚仗。至少1亿年前，蚂蚁就已形成复杂的社会组织。在这个社会里存在两个最基本的阶层——繁殖品级和劳力品级。通常，雄蚁和雌蚁在交配前均有翅膀，雌蚁交配后会脱去翅膀建立自己的王国，雄蚁则会死亡。劳力品级都是蚁后的女儿，它们没有翅膀，以工蚁为主体，部分物种中还存在兵蚁。虽然同样是雌性，但劳力品级的工蚁繁殖力被压制，一些物种中的工蚁甚至完全失去了繁殖器官，它们在某种意义上是“中性”的，不

承担生殖责任。这样的生殖分工是怎样形成的呢？

答案很可能在于蚂蚁社会演化之初的交配制度——雌蚁一生只与一只雄蚁交配一次。这使群体成员之间具有很高的亲缘关系，在后代数量非常多的前提下，只要有一部分个体繁殖成功，群体的遗传物质就可以延续下去，而一些个体就放弃自己生育机会去照顾和自己有血缘关系的兄弟姐妹。这为出现稳定的生殖分工奠定了基础，使蚂蚁从独居昆虫演化成社会性群居昆虫。

》》》 蚂蚁社会复杂化的动力之源

在生殖分工形成之后，蚂蚁的生殖方式也在演化中进一步多样化，社会组织形式变得复杂。比如，一些蚂蚁物种通过体型分化来进行分工；一些则通过多蚁后共存的方式来增加群体的繁殖力，扩大群体规模；部分物种的蚁后不再经过有翅阶段，改变了交配模式，甚至一些物种的蚁后成了“拟工蚁”；更有甚者，少数物种完全抛弃蚁后，直接由工蚁不经交配就产卵……

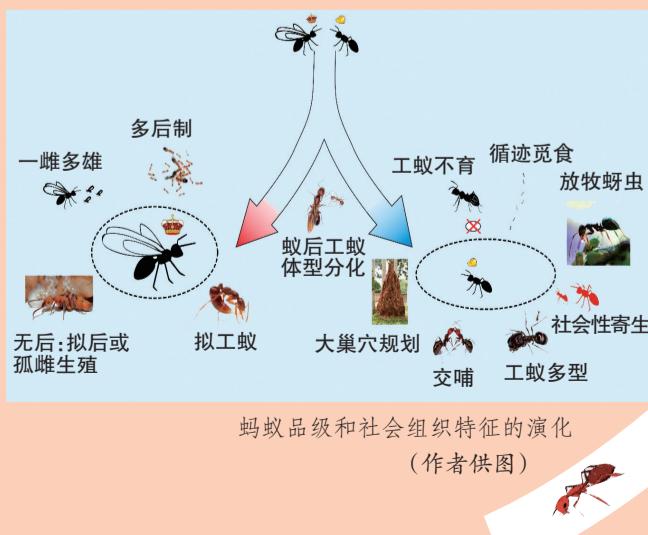
那么，能不能通过在基因组上对上述不同生殖方式的蚂蚁物种进行比较，寻找共性，反过来找到是哪些关键基因或者调控通路在起作用，从而塑造了蚂蚁的生殖分工？团队研究发现，保幼激素的合成途径和丝裂原活化蛋白激酶信号通路，协同调控个体品级分化，决定了发育进程，塑造了蚂蚁多样的生殖分工。

另外，劳力品级也出现了多型分化的演变，一些物种中出现了大大小小的工蚁亚品级，甚至一些物种中连兵蚁都有大小分化，这进一步提高了蚂蚁社会组织的复杂度。

团队通过对不同工蚁多型物种各亚品级基因表达的比较，发现和工蚁多型相关的基因通常富集在保幼激素以及与脑发育相关功能上。如与脑发育有关的 *gcm* 基因，在多个物种的大工蚁和小工蚁之间的表达情况就存在明显差异。

另外，巢穴规模的扩大与品级的进一步分化密切相关，同样对蚂蚁社会的复杂化发挥着关键的作用。

在蚂蚁中，蚁巢规模差异跨越了6个数量级。如较原始的南方恐猛蚁，它们的最小巢穴里只有3只工蚁，社会结构简单，工蚁甚至可以通过争斗转变成繁殖个体；而行军蚁巢穴中包含上百万乃至上千万的个体，工蚁更是有多个亚品级。这种极端分化现象展示了不同物种独特的生存策略。团队研究发现，随着蚁巢规模的扩大，工蚁会倾向于分化出更多的亚品级，产生更精细的劳动分工。



役奴蚁(大)和奴隶蚁(小)

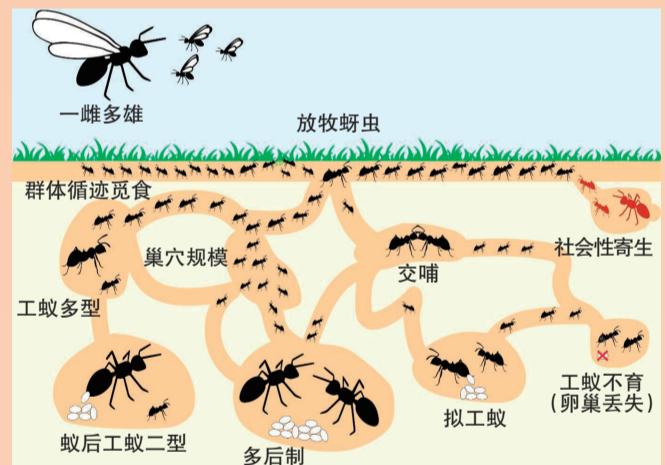
》》》 不一样的生存策略

在有些蚂蚁群体中，社会的复杂度不是增加了，反而是降低了，比如社会性寄生的蚂蚁。其中，最出名的莫过于堪称“最强奴隶主”的悍蚁。这类蚂蚁不挖穴、不觅食、不照顾幼虫，靠掠夺其他蚂蚁为生。当它们锁定目标蚁群后，工蚁会倾巢而出，冲入对方巢穴，然后用镰刀般锋利的上颚刺穿反抗者，再将对方的后代带回家，等其羽化为成虫后，新晋工蚁会完全将悍蚁当成自己的同伴，持续工作直至死亡。

另一种寄生方式则是“蹭吃蹭喝”，如施氏食客蚁没有工蚁，它的

蚁后寄生在草地铺道蚁巢内，虽然对宿主巢穴毫无贡献，但是可以通过气味伪装来让宿主接纳它。

社会性寄生作为蚂蚁社会复杂度降低的特征，通常伴随着较小的巢穴规模或较低的蚁后-工蚁分化程度。团队进一步研究发现，这些社会性寄生蚂蚁物种可能由于不需要靠自身觅食，且与外界环境接触机会变少，使得其基因组尽量精简，丢失掉多余基因，以减少能量消耗。这说明蚂蚁社会性的演化并不是只有复杂化这一条道路，复杂度的降低同样带来了新的生存策略。



》》》 什么导致了蚂蚁社会结构的多样性

蚂蚁的成功还与一系列复杂的社会性特征有关，如标记觅食路径、个体之间的交哺行为等，也演化出的多种非凡生存策略有关。

研究发现，这些特征出现在不同的蚂蚁类群中，以适应不同的环境需求，彼此互相连锁或排斥，形成了模块化的动态组合系统，催生了复杂度各异的蚂蚁社会组织形式。

团队全面解析了这些特征的演化规律和相互关系，并研究了背后的基因调控基础。研究发现，不同特征之间出现了协同演化关系，如蚂蚁放牧蚜虫(从蚜虫的蜜露

中获得营养回报的共生现象)往往伴随着群体循迹觅食行为、大巢穴和多蚁后等特征，共同增加了群体的社会组织复杂度。蚂蚁社会从具有单后制、小型巢穴、单一工蚁品级等简单社会组织演化，存在着重叠的一批基因被“强化”以适应新变化，而另一些基因则被“放松”以简化不必要的特征。

蚂蚁社会的演化历程堪称自然界的奇迹。团队对蚂蚁社会性演化的探索，深化了演化理论，说明自然选择可以在群体、个体、性状和基因等不同层级同时发挥作用，也为进一步揭示其他社会性动物的演化提供了理论框架。蚂蚁在生理、行为和生态方面的适应性演化，也体现了它们对生态的辐射性适应和有效分配资源的生存智慧。

(作者丁果系浙江大学生命演化研究中心博士后，刘薇薇系中国科学院昆明动物研究所副研究员，冉浩系浙江大学生命演化研究中心客座学者)