
研究揭示蚂蚁不同品级间的脑特化现象

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19006.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

在动物的演化历程中，社会组织的出现是重要的转折性事件，它使得动物的适应性大为增强。今天，我们仍能在不同物种中找到社会组织从简单到复杂的一系列连续变化形式，其中，最引人注目的是人类社会以及以蜜蜂、蚂蚁等为代表的社会性昆虫。与人类社会不同，社会性昆虫在发育过程中就表现出了形态、生理上的分化现象。

近日，中国科学院昆明动物研究所生物多样性基因组学研究课题组研究员张国捷、副研究员刘薇薇及其合作者通过构建法老蚁不同品级大脑单细胞转录组图谱，揭示了社会性昆虫在品级分化过程中出现脑结构和功能特化的现象，揭示了蚁后成熟过程中大脑的可塑性变化，挖掘了调节其生殖力和寿命的关键细胞类群。该研究成果以A single-cell transcriptomic atlas tracking the neural basis of division of labour in an ant superorganism为题，发表在《自然—生态与演化》上。

蚂蚁起源于1.4亿年以前的白垩纪时代，现存约2万多个物种。广布于除极地冰原以外的所有陆地生态系统，是生物演化历程中最成功的动物类群之一。社会性是蚂蚁成功的基石。蚂蚁社会中存在着明确分工，即品级分化，如工蚁和繁殖蚁。虽然工蚁和蚁后具有同样的二倍体基因组，但却表现出明显的形态、生理和行为的分化。多数蚂蚁物种的工蚁没有繁殖能力，它们只负责打理巢穴事务，而繁殖任务由繁殖蚁来承担的。未交配的繁殖蚁有翅，交配后雄蚁死亡，雌蚁翅膀脱落，成为蚁后。

昆虫学家惠勒（William Morton Wheeler）在1910年提出社会性昆虫“超个体”（superorganism）概念。他指出，整窝蚂蚁是一个“超个体”，每个蚂蚁都是这个超个体的一个“细胞”，工蚁是它的“体细胞”，而繁殖蚁是它的“生殖细胞”。“超个体”这个观点目前已被学界普遍接受。

为了揭示蚂蚁品级分化的内在机制，研究团队以法老蚁（*Monomorium pharaonis*）为模式生物（图一），通过单细胞转录组测序技术开展研究。获得了涵盖法老蚁工蚁、处女繁殖蚁、蚁后、雄蚁4种全品级大脑总共206,367个高质量的单细胞核转录组数据。这是世界上首个全面覆盖一个蚂蚁社会中所有分工角色的单细胞图谱（图二）。法老蚁是一种适应性极强、对生长环境要求低、世界上广泛分布的蚂蚁。其个体小，繁殖快，发育周期短，群体数量庞大。法老蚁行多后制，蚁群内可同时存在多个蚁后，可以在巢内自交，可诱导产生新的生殖蚁，易于在实验室多代大量饲养。法老蚁的生物学特点使其成为社会性昆虫研究极佳的模式物种。

通过比较法老蚁四种成体大脑的细胞组成，研究团队发现工蚁与雄蚁的大脑是极度特化的。其中负责学习记忆的高级大脑中枢蘑菇体细胞和负责处理气味信息的细胞在工蚁里丰度极高，而负责处理视觉信息的视叶细胞在工蚁里的丰度则较低。雄蚁大脑的细胞组成趋势则相反，视叶细胞丰度很高，而蘑菇体细胞和处理嗅觉信息的细胞丰度则显著降低。处女繁殖蚁和蚁后的大脑则处于

中间形态，绝大多数的细胞类群丰度都是居中（图三）。这意味着工蚁是更倾向于嗅觉感知的动物，它们有发达的蘑菇体，具有更好的学习记忆能力和高级认知功能，能够处理复杂信息，拥有更为灵活的行为策略。而雄蚁视觉系统极度发达，嗅叶和蘑菇体却相对不发达，这可能与其仅担负交配职责而完全不参与蚁巢其他工作的行为相关。处女繁殖蚁和蚁后具有中间形态的大脑，意味着它们具有相对全面的行为模式，可以在必要时担负各种职责，它们的大脑可能更接近蚂蚁社会性起源之前的祖先状态。

相比工蚁，蚁后的寿命长得多，其寿命也比多数同体型的昆虫长。研究发现，处女繁殖蚁在交配后转变为蚁后的过程中，大脑发生了明显的可塑性变化，很多细胞类群的丰度明显变化。其中，视叶细胞类群丰度降低，而多巴胺细胞及其下游神经肽细胞丰度增加，一类具有神经保护功能的胶质细胞丰度也显著增加。这些大脑细胞类群的变化以及神经环路的重塑决定了蚁后生殖功能的极度提升以及寿命的显著延长，使得蚁后能够成为巢内长期、高效运转的生殖机器，为蚁群源源不断地注入新生力量。

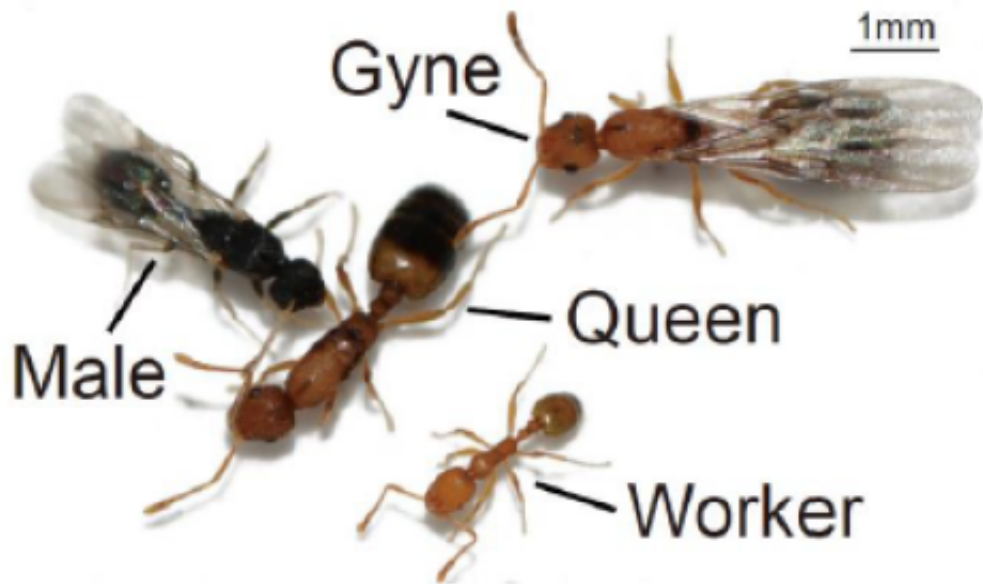
该研究提示了蚂蚁不同品级个体的社会分工和展现出的行为差异与其大脑不同的特化程度有关。不同品级个体的大脑有不同方向和程度的特化，彼此之间又功能互补，执行不同的社会行为和功能，从而使得整个蚁群能够同时拥有生殖、育幼、觅食、防御等全面的功能。因此蚁群成为一个真正意义上的“超个体”，自然选择作用上升到了蚁群这一更高的组织层次，使得蚂蚁在1.4亿年的生存竞争中获得优势，演化成为地球上极具优势的动物类群。

此外，研究通过比较蚂蚁与果蝇的大脑细胞组成的差异发现，比起果蝇，法老蚁中负责高级认知功能的蘑菇体细胞的丰度显著提高，其功能也发生了明显的多样性分化。跳镰猛蚁和蜜蜂中，蘑菇体细胞相比果蝇也同样发生了明显的扩张及分化，提示了昆虫社会性的出现是驱动大脑高级认知中枢扩张及多样性分化的重要力量，这一观察还需基于严格的系统发育关系在多物种比较中加以佐证。

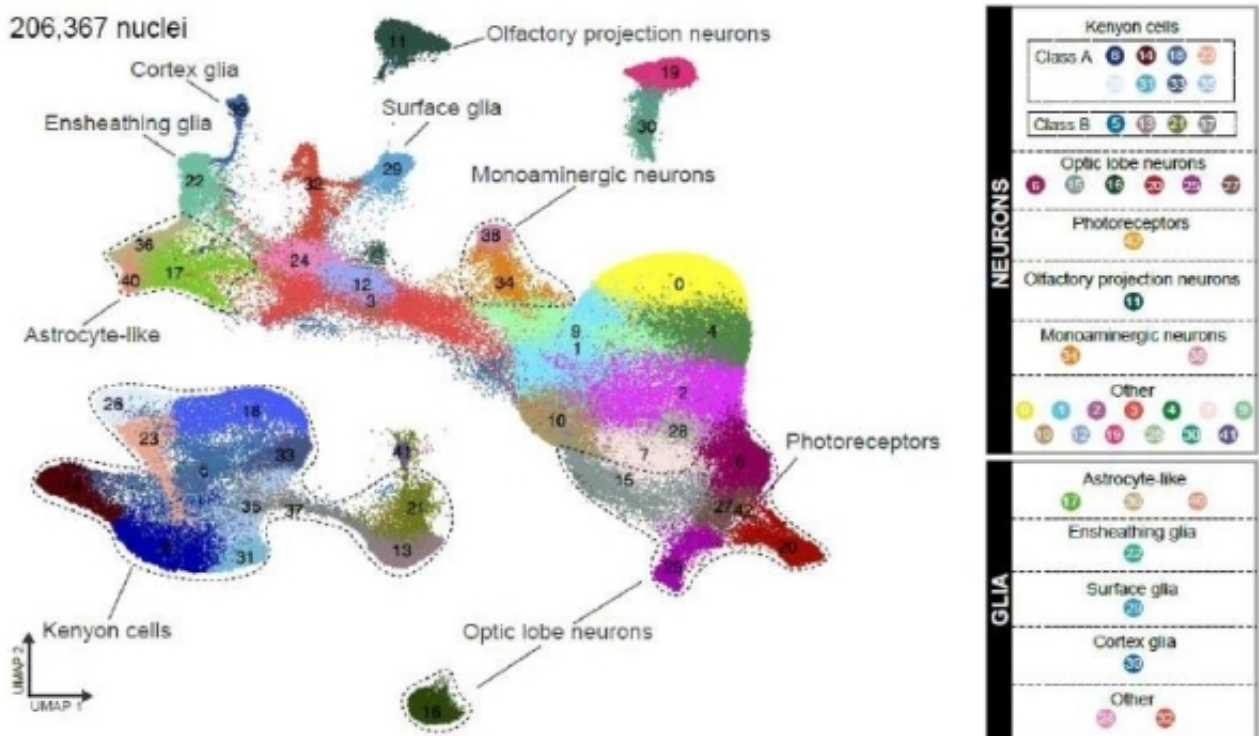
不同于蘑菇体细胞，负责处理视觉信息的视叶细胞则表现出高度保守的特征。尤其是一类在果蝇中负责感知物体运动，使得雄果蝇在求偶仪式中能高效追踪雌果蝇的视叶细胞，这类细胞在蚂蚁中也存在，而且其在蚂蚁大脑的分布位置及所表达的特异分子与果蝇高度相似，说明尽管蚂蚁与果蝇在演化历史上已分开了数亿年，它们大脑中仍然有较多种类的细胞保持着同样的分子特征，行使着相似功能。

研究工作得到国家自然科学基金委员会等的资助。

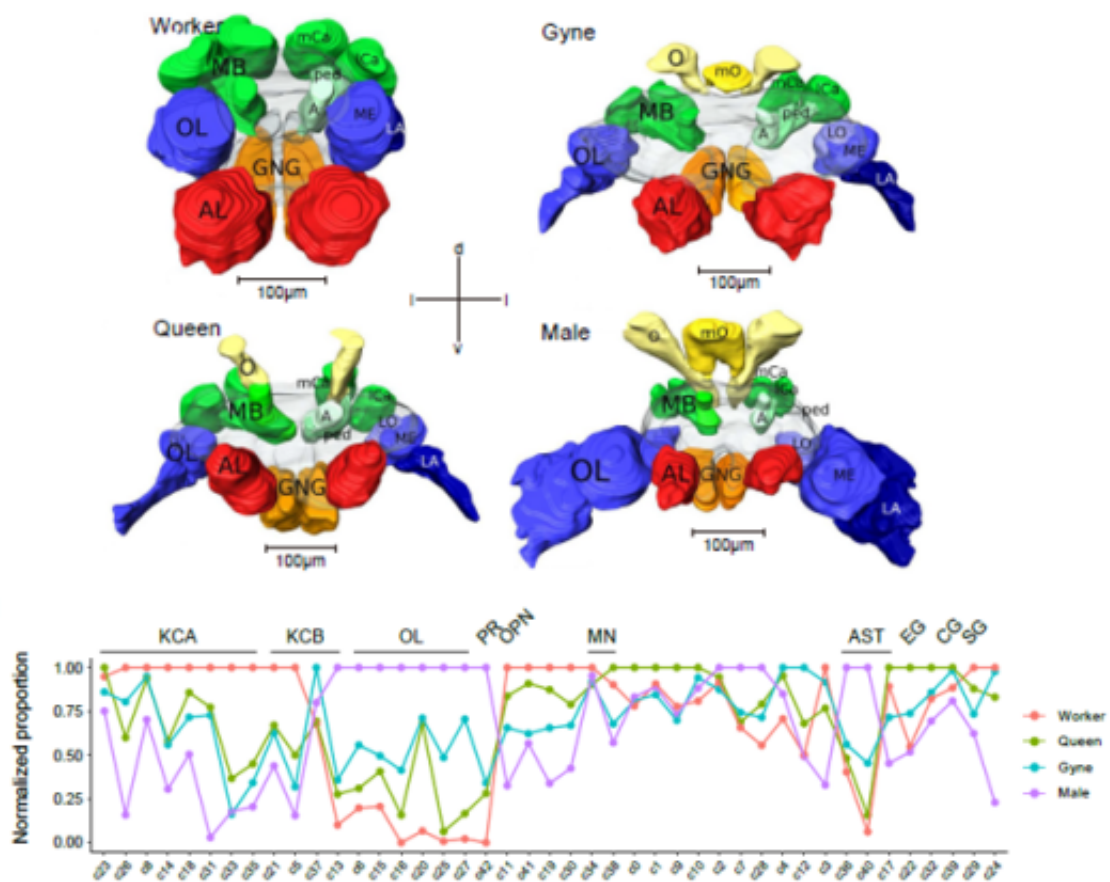
[论文链接](#)



图一 法老蚁的品级分化



图二 涵盖法老蚁全品级的大脑单细胞图谱



图三 法老蚁不同品级大脑重构及脑细胞类群相对丰度

研究团队单位：昆明动物研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发