

---

# 小蠊的“婚姻”：基因之命 激素之言

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19078.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！*

小蠊的“婚姻”：基因之命 激素之言。关关雎鸠，在河之洲。窈窕淑女，君子好逑。《诗经》描写了人类爱恋的复杂行为，而昆虫界的恋爱和婚姻就简单多了。

7月4日，《自然—生态与进化》在线发表了华南师范大学和西北农林科技大学等单位合作研究成果，鉴定出控制德国小蠊接触性信息素合成途径最为关键的基因，系统揭示了其性吸引力产生的分子机制——有没有魅力，性别是根本，激素水平对于维持性吸引力亦不可或缺。

该研究成果为理解动物性信号的产生和复杂调控提供了新的见解。西班牙皇家自然科学院院士Xavier Bellés在论文评审中说：很显然，这项工作已经超越了蟑螂或昆虫的范畴，并暗示了动物的两性如何产生的一般性问题。



李胜团队 受访者供图

---

## 一触钟情：小蠊的恋爱技能

两性吸引作为动物性选择的驱动力，既包括性信号的产生和释放，也需要异性个体对性信号的有效识别和接收。性别分化和激素对动物性信号的产生至关重要，涉及自上而下复杂的基因调控网络。论文责任通讯作者、华南师范大学教授李胜告诉《中国科学报》。

在高等动物，例如人类中，恋爱、求偶等行为涉及到复杂的信号系统，包括视觉、听觉、触觉，甚至心理和社会因素。

为了化繁为简，科学家选择了仅依赖化学信号触发求偶行为的昆虫作为研究对象。

论文共同第一作者、华南师范大学副研究员陈楠告诉《中国科学报》，德国小蠊（*Blattella germanica*）是蜚蠊目最常见的世界性家居害虫，性行为特征典型，性信息素组分明确，是研究两性化学通讯机制的良好模式系统。

论文共同通讯作者、西北农林科技大学研究员樊永亮在接受《中国科学报》采访时说，德国小蠊携带40多种病原微生物，如大肠杆菌等，产生多种导致人类过敏的蛋白物质，是重要的家庭卫生害虫。由于它抗药性强、繁殖力高，所以非常难以控制。

许多昆虫依靠挥发性信息素长距离搜寻配偶，利用接触性信息素进行近距离求偶识别。用性信息素设计的性诱剂是高效、绿色的生物防治手段，具有很好的应用前景。樊永亮说。

此前，德国小蠊性信息素已得到系统鉴定，但控制它生物合成途径的关键基因仍不清楚。此外，为什么仅有雌虫合成性信息素，而且性成熟的雌虫具有更强的性吸引力？性信息素合成受到何种上游信号途径的精密调控？这些问题在过去一直没有清晰的答案。

早在30年前，科学家就开始操心德国小蠊的婚恋问题。

研究发现，令雄虫为之疯狂的是雌虫体表多达29个碳原子的长链脂类混合物，其与人们熟知的挥发性信息素截然不同。

这些低挥发的性信息素必须通过雌雄物理接触方能被接收，雄虫利用触角施展‘击剑术’来识别雌虫性信息素，进而刺激雄虫求偶并诱导两性交配行为。雄虫旋转身体180度并举起翅膀是最典型的求偶特征。陈楠说，这就像是一触钟情。

1992年，美国Nevada大学Blomquist实验室利用同位素示踪技术在生化水平上证明了性成熟雌虫体表含量最多的为一种甲基酮，其由一种甲基烷通过C2位上发生的羟化和氧化反应生成。这一羟化反应是雌虫特异性步骤，雄虫中没有这一步骤。

该步骤自1992年以来被认为由一个雌虫特异表达的P450基因来负责，但此前仍未得到鉴定。李胜说。

2018年，德国小蠊的高质量基因组图谱公开发表；2019年，樊永亮团队又进行了多个发育阶段的德国小蠊转录组测序。测序技术的不断进步和成本降低，组学方法的深入应用，才让我们有机会在30年后验证了这一P450基因——CYP4PC1的功能和当年假设的正确性。陈楠说。

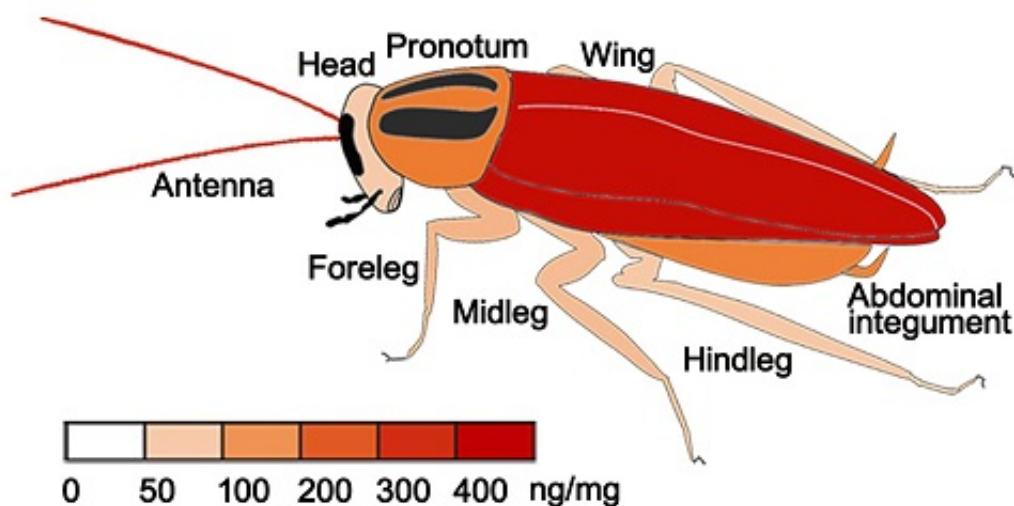
## 控制性信息素合成的分子密码

在寻找这一基因的过程中，我们遭遇了一些曲折。陈楠说。

原来，此前观点认为，德国小蠊腹部皮肤下的绛色细胞是接触性信息素合成的主要场所。这让他们一开始在皮肤组织中寻找可能高表达的控制接触性信息素合成的基因。

通过转录组大规模筛选，他们在80多个P450基因家族中找到了CYP4PC1基因。

下一步的验证却让他们有了惊人的发现——该基因在雌虫触角和翅中高表达，成熟期含量可达一日龄时的几百倍。所以，雌虫触角和翅才是接触性信息素合成的主要场所。这一结论推翻了此前的观点。陈楠说。



德国小蠊雌虫接触性信息素体表分布示意图，颜色越深处含量越高。受访者供图

进一步研究发现，CYP4PC1基因在德国小蠊接触性信息素合成途径中发挥决定性作用。同时，该基因的表达和接触性信息素的含量受性别分化基因和保幼激素信号协同诱导。

李胜解释说，性别分化基因起到调控性别特征的发育和维持作用。而保幼激素作为昆虫两大内源激素之一，既抑制昆虫在幼年阶段变态发育，又作为促性腺激素促进成虫生殖。雌虫羽化后保幼激素浓度和信号随性成熟过程上升。

陈楠介绍，他们让CYP4PC1基因低表达，就能导致雌虫接触性信息素含量显著降低，雄虫不再对这些雌虫表现出求偶行为。引入对照组雌虫后，雄虫仍表现出正常的求偶行为。

这些结果表明，CYP4PC1对于雌虫接触性信息素合成和性吸引力的维持是必须的，其极可能参与接触性信息素前体物质的羟化反应。李胜说。

---

已有研究显示，接触性信息素合成途径中的羟化步骤受保幼激素促进。为进一步证明CYP4PC1控制该决定性的羟化步骤，该团队随后检测该基因是否受保幼激素信号调控。

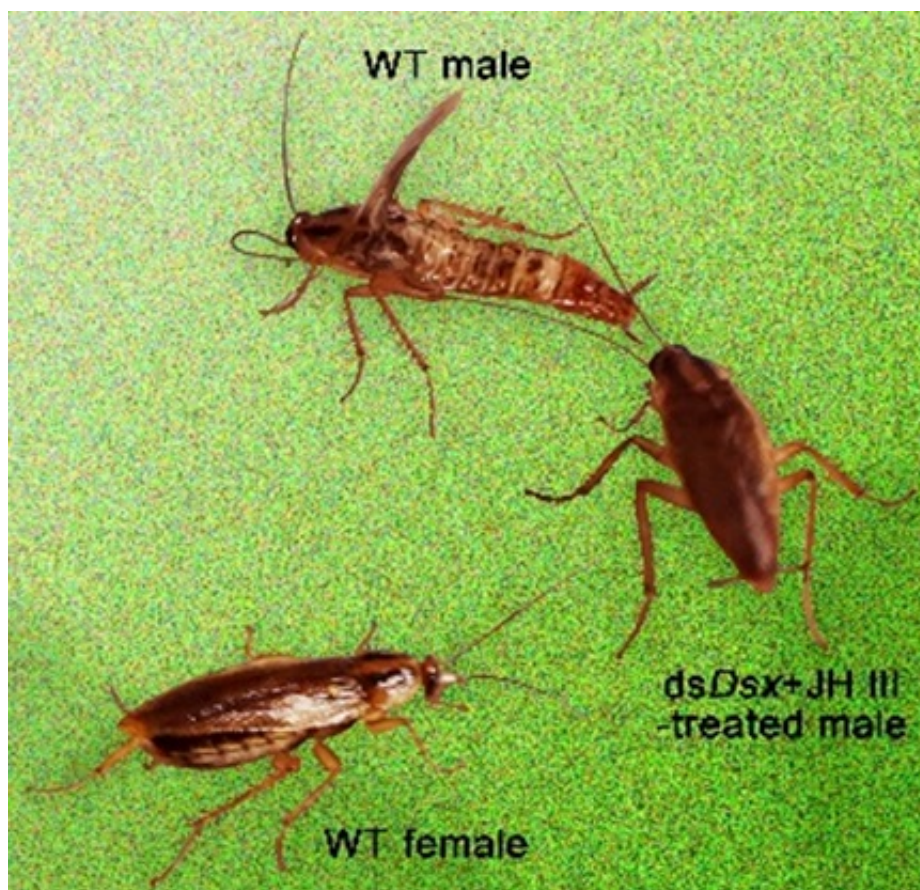
他们用外源保幼激素处理雌虫，可显著诱导CYP4PC1基因表达；如果保幼激素信号基因被抑制，则雌虫性吸引力会大大削弱。

因此，CYP4PC1基因的表达受保幼激素触发的信号途径促进，从而维持雌虫性成熟后具有较高的性信息素含量，刺激雄虫求偶交配。

雄虫对雄虫灭灯

实际上，雄虫同样具备高含量的接触性信息素前体化合物。那么，雄虫为什么不能像雌虫那样合成性信息素？

为了寻找答案，他们开展了进一步研究。



竞争求偶行为学分析。受访者供图

他们发现，给自身相对缺乏保幼激素的雄成虫补充高剂量的外源保幼激素后，小部分雄虫可吸引

雄虫求偶。

这说明保幼激素可诱导雄虫实质性表达CYP4PC1基因，并合成接触性信息素，但效果还十分有限。陈楠说，这提示他们，可能存在更重要的因素抑制CYP4PC1基因在雄虫中表达。

结果发现，CYP4PC1基因在雌虫中的特异表达受到了上游的性别分化信号途径调控。在德国小蠊中，双性基因doublesex在雌雄成虫中会分别产生不同的蛋白质dsxF和dsxM。其中，雄性特异产物dsxM蛋白（属于DMRT家族转录因子）可与CYP4PC1基因启动子结合，从而抑制其转录。

当他们在雄成虫中抑制双性基因表达时，可导致德国小蠊典型的同性恋行为。为了进一步验证，他们又让这些雄虫的CYP4PC1基因低表达，于是同性恋行为消失。

这表明在雄成虫中，dsxM蛋白抑制CYP4PC1基因表达，而且雄虫相对缺乏保幼激素，二者共同遏制接触性信息素在雄虫中合成，从而避免野生雄性小蠊间相互吸引。

在此基础上，团队提出性吸引力分子调控的理论体系：性别分化基因dsxM在雄虫中扮演刹车角色，直接抑制CYP4PC1表达；而雌虫中的双性基因生成dsxF蛋白，可移除刹车作用，保幼激素信号进一步在雌虫中发挥加速器角色，促进CYP4PC1在雌虫性成熟过程中高表达，从而介导性别和年龄特异的性吸引力。



德国小蠊几种求偶模式。a，异性求偶；b，雄-雄求偶（保幼激素处理）；c，雄虫群体性相互求偶（敲低dsx基因）；d，雄-雄求偶（敲低dsx基因）。受访者供图

至此，我们证明了通过操纵上游调控因子，野生型雄虫更喜欢向CYP4PC1表达量和接触性信息素含量较高的蟑螂求偶，而且这一偏好与后者性别无关，处理组雄虫甚至比性成熟雌虫更具魅力。李胜说，过去，人们对是否存在核心基因能有效整合上游调控信号、调节性信号输出和终端行为反应不清楚。

而他们的研究第一次找到一个核心基因CYP4PC1，它整合了性别分化基因的调控信号和内源激素的调控通路，从而决定昆虫的性吸引力。性别是根本，激素水平对于性吸引力的维持亦不可或缺。樊永亮说。

---

陈楠生动地比喻道：为什么雄蟑螂不能吸引雄蟑螂？因为他的‘女人味基因’被关闭；为什么雄蟑螂更喜欢性成熟的雌蟑螂，因为她的‘内分泌’水平高。

在同行评审阶段，三位审稿人一致认为该工作是昆虫化学生态和生殖生理学领域重要突破：作者在非遗传模式的昆虫中精确剖析了性别分化和促性腺激素信号在调控性信息合成中的作用，为理解信息素合成途径的演化研究提供了概念性框架。论文结果令人信服地证明了关键基因CYP4PC1的调节作用，很可能会促进其它动物两性通讯系统关键调节基因的研究。

与已有研究大多聚焦在神经系统改变不同，论文结果还突出了性吸引力改变在介导性行为中的作用，这为更好地理解动物同性性行为的发生机制提供新见解。（来源：中国科学报 李晨 朱汉斌）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41559-022-01808-w>

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：[shouquan@stimes.cn](mailto:shouquan@stimes.cn)。

作者：李胜等 来源：《自然—生态与进化》

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](https://www.iikx.com)转发