

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.06.17

两种火蚁与黑头酸臭蚁上颚形态及其超微结构观察

雷妍圆¹, 吕利华^{1*}, 石庆型¹, 李世茂¹, 何余容²

(1. 广东省农科院植保所, 广州 510640; 2. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘要: 应用扫描电镜和光学显微镜观察了红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren、热带火蚁 *Solenopsis geminata* Fabricius 和黑头酸臭蚁 *Tapinoma melanocephalum* Fabricius 的上颚类型及形态特征。头宽和上颚长度测量结果表明: 两种火蚁的头宽和上颚大小具有连续性特征, 黑头酸臭蚁工蚁仅 1 个类型, 3 种蚂蚁中黑头酸臭蚁的上颚最小, 其前端具 4 个锋利切齿叶, 后部有一排小而钝的臼齿叶, 上颚内缘较光滑。在形态上, 红火蚁的大、中、小型工蚁与热带火蚁工蚁的上颚区别不大, 表面纹理光滑, 都具 4 个锋利小齿, 上颚内缘也比较光滑; 热带火蚁兵蚁上颚仅 3 个小齿且较钝, 其上颚内缘凹面比两种火蚁工蚁的深且纹理粗糙, 推测红火蚁工蚁不仅用于筑巢, 还用于防御, 而热带火蚁兵蚁的强壮上颚可能主要用于磨碎食物, 而非保卫蚁巢。

关键词: 红火蚁; 热带火蚁; 黑头酸臭蚁; 物理攻击; 上颚

中图分类号: Q964; S433.89

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 06-1199-06

Morphological and ultrastructural observation of mandibles of two invasive fire ants, *Solenopsis invicta* Buren, *Solenopsis geminata* Fabricius and a native ant *Tapinoma melanocephalum* Fabricius

LEI Yan-Yuan¹; LV Li-Hua^{1*}; SHI Qing-Xing¹; LI Shi-Mao¹; HE Yu-Rong² (1. Institute of Plant Protection, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. College of Natural Resources and Environment, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Mandibular shape of two invasive fire ants, *Solenopsis invicta*, *Solenopsis geminata* and a native ant *Tapinoma melanocephalum* were observed by light microscope and scanning electron microscopy (SEM). The head width and mandible size were polymorphism and widened progressively in two invasive species, while no significant difference was found in those parameters among individuals of *T. melanocephalum*. The *T. melanocephalum* has the smallest mandibles in the three types of species. It included four sharp incisor lobes, numbers of small and obtuse incisor lobes, smooth texture of ventral regions. There was no morphological difference in major, medium, minor workers of *S. invicta* and *S. geminata* mandibles. The mandibles of three sizes of workers included four sharp small teeth, with smooth texture of ventral regions. *S. geminata* soldier mandibles were different from workers because of blunt small teeth, relatively deep inner concave margin and rough texture of ventral regions. It was speculated that hardness mandibles of *S. invicta* were evolved in relation to colony founding and defending, while mandibles of *S. geminata* soldier were mainly related to food grinding, instead of colony defending.

Key words: *Solenopsis invicta*; *Solenopsis geminata*; *Tapinoma melanocephalum*; physical attacks; mandibles

基金项目 “十二五” 国家科技支撑计划 (2015BAD08B02); 广东省科技计划项目 (2011B031500020); 广州市科技计划项目 (2015010010232); 广东省农业科学院院长基金项目 (201426)

作者简介: 雷妍圆, 女, 1981 年生, 博士, 助理研究员

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: lhlu@gdppri.com

收稿日期 Received: 2015-12-04; 接受日期 Accepted: 2016-03-30

火蚁属 (*Solenopsis*) 蚂蚁通常具有极大的破坏性, 其中红火蚁 *Solenopsis invicta* 和热带火蚁 *Solenopsis geminata* 是全球性的重要入侵蚂蚁, 对人体健康、社会生活、农业生产以及生态环境构成极大的威胁 (Jetter *et al.*, 2002)。据报道, 红火蚁 2003 年首次出现于我国台湾桃园地区 (张润志等, 2005), 2004 年 9 月在广东局部地区发现其为害 (曾玲等, 2005), 目前在我国长江以南的多个省份皆有分布 (陆永跃和曾玲, 2015)。热带火蚁早于红火蚁于 1931 年入侵台湾 (Chou and Terayama, 1991), 但其主要局限于我国海南、广东和广西等地 (周善义, 2001)。在火蚁成功定殖区域, 本地蚂蚁群落结构发生了变化, 生境内的节肢动物多样性降低, 一些本地蚂蚁被取代 (吴碧球等, 2008)。入侵物种与本地物种间通过种间竞争来达到某种平衡, 它们争夺食物资源、觅食地点和领地, 竞争的结果可能是入侵物种成功定殖并取代本地物种, 也可能是入侵物种与本地物种间达到共存。在我国能够抵御火蚁的本地蚂蚁种类中, 黑头酸臭蚁 *Tapinoma melanocephalum* 的分布广泛, 尤其在华南地区的城市与乡镇区域, 是本地蚂蚁群落中的优势种 (吴碧球等, 2008)。

当不同种类蚂蚁的生态位重叠时, 竞争不可避免, 蚂蚁物种间的竞争程度及其所利用的手段有所差异。具有驱避作用的毒性化学物质释放是干扰竞争的常规手段, 称之为化学攻击。也有个体间通过直接身体接触的打斗行为, 称之为物理攻击。还有先用上颚咬住对方, 再用腹针刺击, 释放毒液的物理化学手段混合并用的攻击, 称之为混合攻击。黑头酸臭蚁对热带火蚁具有较强的化学防御能力, 在双方的打斗过程中, 前者会翘起腹部喷出臀腺分泌物来抵御对手的进攻 (Tomalski *et al.*, 1987)。而基于我们此前的研究, 面对与之体型相近的小型红火蚁或热带火蚁工蚁, 黑头酸臭蚁更倾向于使用物理攻击的方式 (另文发表), 上颚 (mandibles) 为物理攻击的主要武器。

蚂蚁工蚁或兵蚁具有发达的咀嚼式口器 (chewing mouthparts), 口器各部分构造随虫态、食性、习性等略有变化, 其中最显著的结构就是发达而坚硬的上颚, 呈锥状, 两个上颚一般不完全对称, 其前端有切齿叶 (incisor lobe) 以切断和

撕裂食物, 后部有臼齿叶 (molar lobe) 磨碎食物。上颚的形状、结构与蚂蚁的觅食、建巢和进攻防御功能有关。

迄今为止, 对 3 种蚂蚁不同品级个体的上颚研究尚未见报道。红火蚁工蚁分为大中小型, 无特化的兵蚁, 热带火蚁兵蚁与工蚁的品级分化明显, 黑头酸臭蚁工蚁个体无多态性, 它们的上颚可能存在区别。明确这 3 种蚂蚁非生殖蚁的类型及其上颚形状及结构, 有助于了解两种入侵火蚁与本地优势种 - 黑头酸臭蚁之间的干扰竞争机制。本研究利用扫描电镜和体视显微镜, 对两种火蚁及黑头酸臭蚁的上颚进行详细观察, 探讨上颚类型、形态特征与打斗能力的关系, 以期对入侵蚂蚁与本地蚂蚁间干扰竞争的行为学、化学生态学和电生理学等方面的研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

本试验所用红火蚁蚁巢采自广州市花都区 (N 23°25.641', E 113°21.210'), 用水滴法 (吕利华等, 2006) 将蚁群从土壤中分离出来。热带火蚁采于广州市广园快速路边的绿化带 (N 23°09'05.31", E 113°19'37.70"), 采用火腿肠诱集热带火蚁至试管中, 合并蚁群约 1000 头以上。黑头酸臭蚁蚁巢采自广东省农科院东区苗圃 (N 23°08'53.42", E 113°21'08.08"), 用铁锹挖掘黑头酸臭蚁地下蚁巢, 以蜂蜜水诱集至试管中, 并合并蚁群。3 种供试蚂蚁分别置于内壁涂了滑石粉的保鲜盒 (长 380 mm、宽 300 mm、高 200 mm) 中, 盒内放置人工蚁巢 (吕利华等, 2006), 保持在 25℃、相对湿度 70% 条件下, 以 25% 蜂蜜水和黄粉虫饲养。

1.2 蚂蚁头壳宽度及上颚长度测量

依据红火蚁、热带火蚁和黑头酸臭蚁头部宽度 (两复眼之间的距离), 来表示其工蚁或兵蚁个体大小 (Morrison and Gilbert, 1998), 按照头部宽度大小区分蚂蚁的品级或类型 (吴坚和王常禄, 1995)。在 3 种蚂蚁的供试蚁巢中随机取样, 用手术刀切下其头部, 置于体视显微镜 (江南新兴) 载物台上, 在目镜 10×, 显微镜放大倍数 1.5 倍的条件, 用目镜测微尺 (江南新兴) 和显微镜

测微台尺 (MshOt) 测量头部在目镜测微尺的格数, 确定头壳宽度, 测量取样量为 400 头红火蚁工蚁, 400 头热带火蚁 (工蚁和兵蚁) 和 200 头黑头酸臭蚁工蚁。此外, 从 3 种蚂蚁巢中抽取工蚁或兵蚁 50 头, 对头部进行解剖, 用镊子将上颚挑出去除残余组织, 测量上颚基部至端部间直线距离, 作为 3 种蚂蚁工蚁或兵蚁的上颚长度。

1.3 体视显微镜观察

对蚂蚁头部进行解剖, 获得的上颚放进 75% 乙醇中清洗。将上颚置于 ZEISS 变焦体视显微镜 (Stemi 2000-CS) 下, 目镜 5 \times , 再微调至图像清晰后, 用数字成像系统 (MshQt-MD50) 观察照相。

1.4 扫描电镜样品制备及观察

将各蚂蚁的上颚样品用 0.1M pH7.0 PBS 缓冲液漂洗 2-3 次后, 置于 4% 戊二醛固定 12 h, 再用 PBS 缓冲液漂洗 3 次, 每次 10 min; 以 1% 四氧化锇固定 1 h, 再用 PBS 缓冲液漂洗 3 次, 每次 10 min; 用 50%、70%、80%、90%、100% 乙醇进行梯度脱水, 醋酸异戊酯过渡 30 min, 以 CO₂ 临界点干燥 15 min, 样品粘台和铂金镀膜后, 在扫描电镜 XL-30 ESEM (荷兰飞利浦电子光学有限公司) 下观察拍照。

1.5 数据分析

采用 DPS 数据处理系统 (唐启义和冯明光, 2002) 对数据进行 LSD 多重比较, 分析处理间的显著性差异。

2 结果与分析

2.1 热带火蚁、红火蚁与黑头酸臭蚁个体和上颚大小差异

红火蚁、热带火蚁与黑头酸臭蚁头部宽度的测量结果 (图 1A) 表明, 火蚁工蚁或兵蚁个体大小具有连续的多态性分布特征, 但黑头酸臭蚁个体大小无多态性。红火蚁工蚁头宽范围为 0.519 - 1.558 mm, 头部平均宽度为 0.90 ± 0.014 mm, 其中头宽小于 1.0 mm 的红火蚁比例为 70.63%, 被称为小型红火蚁; 红火蚁工蚁在 1.00 - 1.35 mm 间的数量约为整体的 19.66%, 被称为中型红火蚁, 头宽大于 1.35 mm 的红火蚁工蚁比例为 9.71%, 这部分为大型红火蚁; 热带火蚁头部宽度范围为 0.375 - 2.026 mm, 平均宽度为 $0.83 \pm$

0.009 mm。热带火蚁的头宽小于 1.00 mm 的数量约占了整体的 85.4% 的, 这部分为工蚁。当头宽大于 1.40 mm 时, 定为兵蚁。热带火蚁的兵蚁虽然普遍比大中型红火蚁大, 但所占的数量却很少, 仅 3.8%。黑头酸臭蚁工蚁个体大小有两个分布范围, 其头部宽度分别为 0.416 mm (占 22.5%) 和 0.468 mm (占 77.5%), 平均宽度为 0.46 ± 0.002 mm, 由于二者间无显著差异, 故对其体型不作区分。

红火蚁、热带火蚁与黑头酸臭蚁上颚长度的测量结果 (图 1B) 表明, 红火蚁工蚁上颚大小也具有连续的多态性分布特征, 其范围在 0.37 - 0.76 mm, 随着工蚁体型的增大, 上颚大小也随之增大; 热带火蚁兵蚁和工蚁上颚大小也具有连续多态性分布, 上颚平均长度范围在 0.39 - 0.97 mm, 其中单头兵蚁的上颚可达 1.00 mm。黑头酸臭蚁工蚁个体的上颚大小变化不大, 约为 0.26 mm, 小于两种入侵火蚁。

2.2 两种入侵火蚁的上颚形态比较

由于两种入侵火蚁的上颚大小具有连续多态性特征, 火蚁种群中的兵蚁或大型工蚁的功能是负责防御, 因此仅就体型相近的红火蚁大型工蚁、热带火蚁兵蚁和大型工蚁的上颚进行比较 (图 2)。两种火蚁大型工蚁上颚为红褐色, 小齿及内侧形态相似 (图 2A, B), 形状狭长, 上颚前端咀嚼缘具 4 枚明显的锋利小齿, 尤其以第 1 枚小齿即端齿最为锋利和强大, 基齿稍缩小, 上颚内缘较光滑, 边缘分布有数根刚毛且表面有光泽; 热带火蚁兵蚁上颚体色较工蚁略深, 仅分辨出 3 个小齿 (图 2C), 端齿较工蚁的短而钝, 基齿消失, 且上颚内缘凹面比两种火蚁工蚁的深和粗糙。

2.3 红火蚁与黑头酸臭蚁上颚电子扫描超微结构

红火蚁大、中、小型工蚁的上颚微观结构如图 3 所示, 红火蚁各型工蚁上颚咀嚼缘具 4 个锋利小齿 (图 3A-C), 上颚背面均匀分布有刚毛, 从基部向端部分散出数条不连续的流水状凹陷纹, 上颚内缘较光滑, 3 种体型的工蚁上颚仅在大小上有所不同, 其随着体型而增大。黑头酸臭蚁工蚁的上颚在形态上与红火蚁有明显区别 (图 D, E), 上颚呈长三角形, 咀嚼缘前端具 4 个锋利切齿叶, 后端有一排小而钝的臼齿叶, 上颚内缘较光滑。

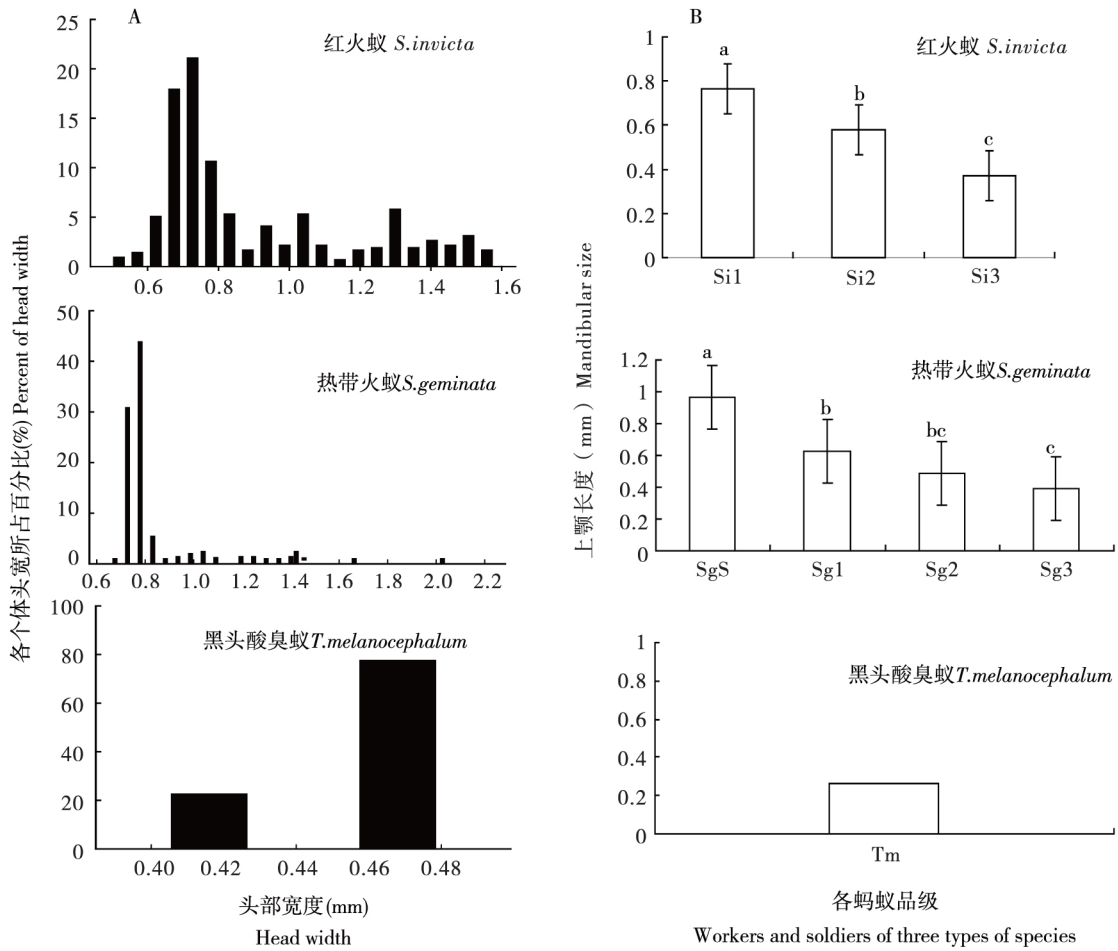


图1 3种蚂蚁个体和上颚大小比较

Fig. 1 Histogram of head width and mandibular size among three ants tested

注: A, 3种蚂蚁个体大小分布图; B, 3种蚂蚁上颚大小分布图。Si1, Si2, Si3 分别代表红火蚁大型、中型和小型工蚁; SgS, Sg1, Sg2, Sg3 分别代表热带火蚁兵蚁、热带火蚁大型、中型和小型工蚁; Tm, 黑头酸臭蚁工蚁。图中数据为头宽或上颚长度的平均值 ± 标准误, 不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 (LSD 最小显著性差异法)。Note: A, Histogram of head - width distribution among three ants tested; B, Histogram of mandibular size distribution among three ants tested. Si1, Si2, Si3 represent major, medium and minor workers of *Solenopsis Invicta* respectively; SgS, Sg1, Sg2, Sg3 represent soldiers, major, medium and minor workers of *Solenopsis geminate* respectively; Tm, represents workers of *Tapinoma Melanocephalum*. Data are means ± SE of head width and mandibular size, and bars with different letters are significantly different at the 0.05 level (LSD).

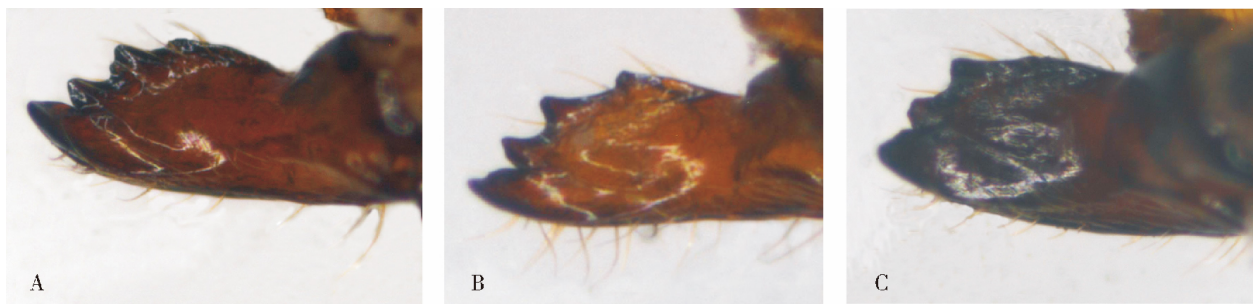


图2 红火蚁和热带火蚁上颚内侧图

Fig. 2 Ventral view of the external mandible morphology of *Solenopsis invicta* and *Solenopsis geminate*

注: A, 红火蚁大型工蚁; B, 热带火蚁大型工蚁; C, 热带火蚁兵蚁。Note: A, Major worker of *Solenopsis invicta*; B, Major worker of *Solenopsis geminate*; C, Soldier of *Solenopsis geminate*.

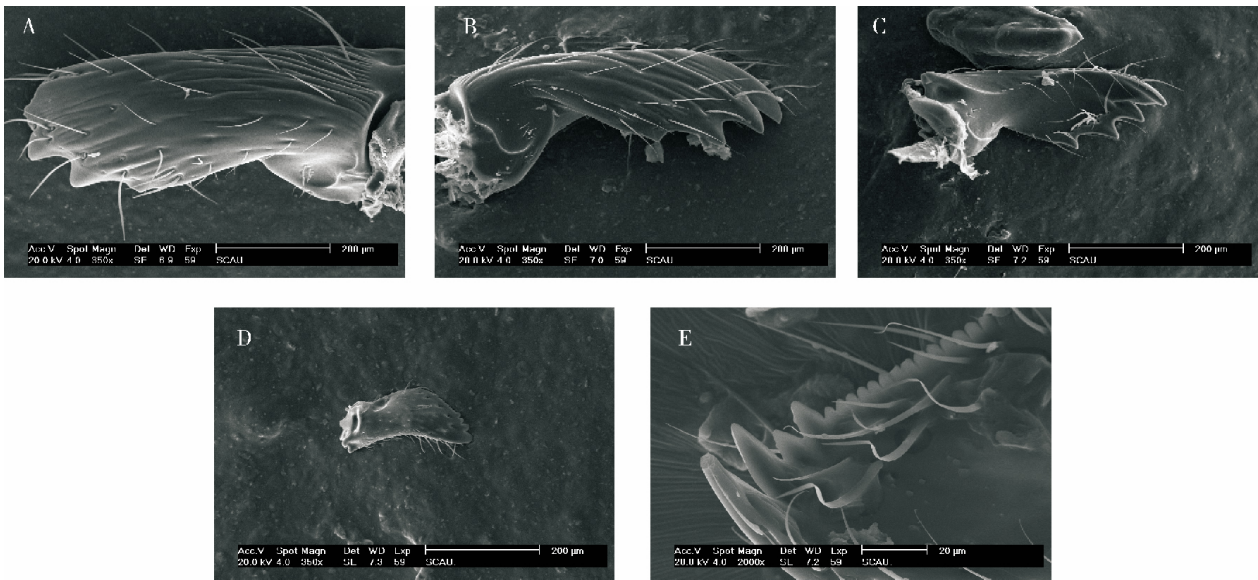


图3 红火蚁与黑头酸臭蚁上颚扫描电镜图

Fig. 3 The ultrastructure of *Solenopsis invicta* and *Tapinoma melanocephalum* mandibles using SEM

注: A, B, C: 红火蚁大、中、小型工蚁; D, E: 黑头酸臭蚁工蚁。Note: A, B, C: Major, medium and minor workers of *Solenopsis invicta*, respectively; D, E: Workers of *Tapinoma melanocephalum*.

3 结论与讨论

蚂蚁体型与上颚大小的对应关系在蚂蚁种类间存在区别 (Manting *et al.*, 2013)。从本研究结果来看, 两种入侵火蚁个体大小具有明显的连续性, 其各品级的个体大小皆比黑头酸臭蚁大。两种火蚁上颚大小也呈现出连续性, 随着体型的增大, 上颚也随之增大, 火蚁各品级个体的上颚均大于黑头酸臭蚁。上颚的多态性及大小上的优势是两种入侵火蚁与本地黑头酸臭蚁竞争中的优势之一, 因而作为本地蚂蚁优势种的黑头酸臭蚁, 能够与火蚁形成长期共存关系, 并非单纯依靠上颚的物理攻击能力。

本研究还表明红火蚁大型工蚁与热带火蚁大型工蚁在上颚形态上没有差别, 其上颚小齿锋利, 纹理光滑, 但热带火蚁具有兵蚁, 其不仅体型大, 而且与大型工蚁上颚形态稍有不同, 即小齿较钝且上颚内缘凹面比较深, 在纹理上也较粗糙。推测红火蚁因为没有兵蚁和工蚁的品级分化, 工蚁不仅负责筑巢、觅食、育幼等日常工作, 还负责整个蚁巢的防御任务; 而热带火蚁进化出具有强壮上颚的兵蚁, 但其小齿较钝, 上颚内缘凹面较深且纹理粗糙, 有助于切割或磨碎种子, 主要负

责食物加工, 而不适合于保卫蚁巢 (Wilson, 1978; Trager, 1991)。黑头酸臭蚁的上颚与两种火蚁的形态存在区别, 不仅上颚小, 而且具有 4 个锋利小齿和一排小而钝的臼齿叶, 推测这可能与其对食物的偏好有关 (Chong and Lee, 2006), 并且很有可能是蚂蚁间对食物喜好性不同, 促进了黑头酸臭蚁与火蚁的共存 (郑基焕和张润杰, 2010)。

入侵蚂蚁与本地蚂蚁间的干扰竞争具有不对称性, 主要体现在个体大小和种群数量方面 (Holway *et al.*, 2002)。我们前期研究结果表明, 在红火蚁与本地蚂蚁亮红大头蚁 *Pheidole fervida* 的攻击试验中, 仅利用上颚进行物理攻击的亮红大头蚁死亡率较高 (高燕等, 2011), 可能是因为红火蚁具有强大上颚及其体型多态性的优势, 证明入侵蚂蚁在上颚形态及结构上均具有较明显的攻击优势。在两种入侵火蚁的攻击试验中, 当个体大小相当时, 红火蚁比热带火蚁更多的利用上颚物理攻击 (另文发表), 这可能与具有强壮上颚的大型红火蚁在种群中的比例 (9.7%) 比热带火蚁兵蚁在其种群中的数量 (3.8%) 多有关。此外, 在红火蚁与本地蚂蚁黑头酸臭蚁的攻击试验中, 利用物理与化学防御混合攻击的黑头酸臭蚁死亡率较低 (高燕等, 2011)。本地蚂蚁黑头酸臭蚁虽

然在体型大小和上颚结构上处于劣势,但其已经形成某种防御机制,如利用臀腺分泌物对热带火蚁进行驱避 (Tomalski *et al.*, 1987) 的化学防御手段。推测黑头酸臭蚁利用物理与化学防御混合攻击方式来保证了其种群生存与繁衍,以保证在其原产地对两种火蚁的入侵扩散起到了一定的阻挡作用。

参考文献 (References)

- Chong KF, Lee CY. Food preferences and foraging activity of field populations of a pest ant, *Tapinoma indicum* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Sociobiology*, 2006, 48 (3): 875–883.
- Chou LY, Terayama M. Name list of insects in Taiwan – Hymenoptera: Apocrita: Formicidae [J]. *Chinese Journal of Entomology*, 1991, 11 (1): 75–84.
- Gao Y, Lv LH, He YR, *et al.* Interference competition between the red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) and two native ant species (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54 (5): 602–608. [高燕, 吕利华, 何余容, 等. 红火蚁与两种本地蚂蚁间的干扰竞争 [J]. 昆虫学报, 2011, 54 (5): 602–608]
- Holway DA, Lach L, Suarez AV, *et al.* The causes and consequences of ant invasions [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2002, 33: 181–233.
- Jetter KM, Sausageilton J, Klotz JH. Eradication costs calculated: Red imported fire ants threaten agriculture, wildlife and homes [J]. *California Agriculture*, 2002, 56 (1): 26–34.
- Lu YY, Zeng L. 10 years after red imported fire ant found to invade China: History, current situation and trend of its infestation [J]. *Plant Quarantine*, 2015, 29 (2): 1–6. [陆永跃, 曾玲. 发现红火蚁入侵中国 10 年: 发生历史、现状与趋势 [J]. 植物检疫, 2015, 29 (2): 1–6]
- Lv LH, Feng X, Chen HY, *et al.* A technique for field collecting and laboratory rearing red imported fire ant, *Solenopsis invicta* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2006, 43 (2): 265–267. [吕利华, 冯夏, 陈焕瑜, 等. 介绍红火蚁的野外采集和实验室饲养的方法 [J]. 昆虫知识, 2006, 43 (2): 265–267]
- Manting MME, Torres MAJ, Demayo CG. Describing variability in mandible shapes in selected workers of the ant *Diacamma rugosum* (LeGuillou) 1842 (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae) [J]. *International Research Journal of Biological Sciences*, 2013, 2 (6): 8–15.
- Morrison LW, Gilbert LE. Parasitoid – host relationships when host size varies: The case of Pseudacteon flies and *Solenopsis* fire ants [J]. *Ecological Entomology*, 1998, 23 (4): 409–416.
- Tang QY, Feng MG. DPS Data Processing System for Practical Statistics [M]. Beijing: Science Press, 2002: 418–430. [唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 418–430]
- Tomalski MD, Blum MS, Jones TH, *et al.* Chemistry and functions of exocrine secretions of the ants *Tapinoma melanocephalum* and *T. erraticum* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1987, 13 (2): 253–263.
- Trager JC. A revision of the fire ants, *Solenopsis geminata* group (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae) [J]. *Journal of the New York Entomological Society*, 1991, 99 (2): 141–198.
- Wilson EO. Division of labor in fire ants based on physical castes (Hymenoptera: Formicidae: *Solenopsis*) [J]. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 1978, 51 (4): 615–636.
- Wu BQ, Lu YY, Zeng L, *et al.* Influence of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) on the diversity of ant communities in a newly infested longan orchard and grass areas nearby [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 19 (1): 151–156. [吴碧球, 陆永跃, 曾玲, 等. 红火蚁入侵对广东多种生境中蚂蚁类群的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19 (1): 151–156]
- Wu J, Wang CL. The Ants of China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995: 19. [吴坚, 王常禄. 中国蚂蚁 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995: 19]
- Zeng L, Lu YY, He XF, *et al.* Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* to invade mainland China and infestation in Wuchuan, Guangdong [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (2): 144–150. [曾玲, 陆永跃, 何晓芳, 等. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (2): 144–150]
- Zhang RZ, Ren L, Liu N. An introduction and strict precautions against red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, for its potential invasion to the mainland of China [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (1): 6–10. [张润志, 任立, 刘宁. 严防危险性害虫红火蚁入侵 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (1): 6–10]
- Zheng JH, Zhang RJ. Interspecific competition between the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren and the ghost ant, *Tapinoma melanocephalum* (F.) for different food resources [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32 (3): 312–317. [郑基焕, 张润杰. 红火蚁与黑头酸臭蚁对不同食物资源的竞争 [J]. 环境昆虫学报, 2010, 32 (3): 312–317]
- Zhou SY. The Ants of Guangxi, China [M]. Guilin: Guangxi Normal University Press, 2001: 88. [周善义. 广西蚂蚁 [M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 2001: 88]