



付浪, 汤宝珍, 侯有明. 棕榈科植物入侵害虫水椰八角铁甲的研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (4): 829–837.

棕榈科植物入侵害虫水椰八角铁甲的研究进展

付浪^{1,2}, 汤宝珍^{1,2*}, 侯有明^{1,2*}

(1. 福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002;

2. 福建农林大学植物保护学院, 福建省昆虫生态重点实验室, 福州 350002)

摘要: 水椰八角铁甲 *Octodonta nipae* (Maulik) 是一种危险性林业检疫性害虫, 主要危害棕榈科植物, 对棕榈科植物的苗木繁育、生态环境和城市绿化等均具有严重危害。自 2001 年入侵我国以来, 先后对水椰八角铁甲的入侵特性、生物生态学特性、免疫响应及其机制等进行系统研究, 并取得了一定的研究成果: 水椰八角铁甲具有较高的种群遗传多样性, 最适的温度范围为 26~29℃, 对极端温度的耐受能力不强, 但其耐寒性具有一定的可塑性; 金山葵、加拿利海枣和银海枣是其比较喜爱的棕榈科寄主植物, 多次交配是水椰八角铁甲常见的繁殖策略, 当水椰八角铁甲入侵后面临不良因素时, 其细胞和体液免疫可积极响应, 因此, 水椰八角铁甲具有较强的适应能力和繁殖能力, 能够入侵我国长江以南大部分地区。本文主要总结了这些工作的研究进展。

关键词: 水椰八角铁甲; 多次交配; 免疫; 温度; 遗传多样性; 棕榈科植物

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 04-0829-09

Progress in research on *Octodonta nipae*, an invasive pest of palms

FU Lang^{1,2}, TANG Bao-Zhen^{1,2*}, HOU You-Ming^{1,2*} (1. State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Insect Ecology, College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: *Octodonta nipae* (Maulik), a dangerous quarantine pest for forestry, mainly attacks palm plants, which has caused serious damage to nursery stock for palm plants, ecological environment, and city afforestation. Since this invasive pest was first discovered in 2001 in China, numerous works have been done in the fields of invasive characteristics, biological and ecological characteristics, immune response and the underlying mechanisms, and some results have been achieved. *O. nipae* has a high population genetic diversity. It develops and grows optimally at the temperature range of 26~29℃. It shows no tolerance to extreme temperatures but to some extent owing a plasticity in cold resistance. *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman, *Phoenix canariensis* Hort. ex Chabaud and *P. sylvestris* Roxb. are its favorite host plants. *O. nipae* usually adopts multiple mating strategy for reproduction; when encountering an improper environment, *O. nipae* responds quickly with activating cellular and humoral immunity. Therefore, *O. nipae* has characteristics of strong adaptability and reproductive ability, which can help them to invade most south areas of the Yangtze River in China. In this review, we summarized these related progress in China based on published thesis and papers.

Key words: *Octodonta nipae*; multiple mating; immunity; temperature; genetic diversity; palm plants

基金项目: 国家重点研发项目 (2017YFC1200600); 国家自然科学基金 (31672086)

作者简介: 付浪, 男, 1990 年生, 湖南岳阳人, 博士研究生, 研究方向为入侵生物学, E-mail: m18305918768@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 汤宝珍, 博士, 副教授, E-mail: tangbaozhen@fafu.edu.cn; 侯有明, 男, 博士, 教授, E-mail: yhmou@fafu.edu.cn.

收稿日期 Received: 2020-06-08; 接受日期 Accepted: 2020-06-20

水椰八角铁甲 *Octodonta nipae* (Maulik), 英文名为 *nipa palm hispid beetle*, 隶属于鞘翅目 Coleoptera, 叶甲总科 Chrysomeloidea, 叶甲科 Chrysomelidae, 龟甲亚科 Cassidinae, 隐爪族 Cryptonychini, 八角铁甲属 *Octodonta* (Maulik, 1921; Gressitt, 1960; Staines, 2012)。早期被归为潜叶甲属 *Plesispa* (Maulik, 1921), 而后才被修订为八角铁甲属 *Octodonta*。水椰八角铁甲前胸背板近方形, 四个角向外突出, 且每个角凹陷形成2个齿, 因而为“八角属”; 该虫原产于马来西亚 (Maulik, 1921), 首次被发现于寄主水椰子 *Nypa fruticans* Wurmb 上, 故命名为“水椰八角铁甲 *Octodonta nipae*” (孙江华等, 2003)。

水椰八角铁甲于2001年首次发现入侵我国, 被发现于海南省东方市的华盛顿棕榈 *Washingtonia filifera* (Linden ex. André) H. Wendl. 上, 随后在广东、广西、云南和福建皆发现它的危害 (Hou and Weng, 2010; 张翔, 2015)。水椰八角铁甲主要以成虫和幼虫聚集危害棕榈科植物幼茎、嫩梢和未展开或未完全展开的心叶 (Gressitt, 1960); 室内饲养发现, 也可取食展开后的老叶。危害后的叶片呈现褐色坏死条斑、卷曲或皱缩, 严重时引起整株植株枯萎死亡, 对入侵地的棕榈科植物种植业、城市园林景观造成巨大损失, 对生态安全造成了严重影响。自2007年起, 本研究室和中国热带农业科学院已先后对水椰八角铁甲的入侵特性、生物学特性、寄主植物偏好、生理特性以及生物防治等展开了研究。在此, 主要对近几年水椰八角铁甲的相关研究工作进行总结, 以加深人们对水椰八角铁甲入侵机制的认识, 以期更好地为水椰八角铁甲的防治提供基础。

1 水椰八角铁甲的种群遗传多样性和遗传结构

入侵种一般要经历传入、定殖、潜伏、传播、扩散和暴发几个主要时期, 种群遗传多样性是决定入侵种从传入到暴发等阶段的决定性因素之一, 种群内遗传变异大小和种群间遗传结构的分化决定了其在入侵地的进化潜力和适应新环境的能力, 对其成功定殖具有重要影响 (Grant, 1993; Hughes and Dorn, 2002)。田震宇 (2018) 对来自福建、广东、广西、云南和海南5个省份的9个水椰八角铁甲地理种群进行种群遗传多样性和遗传结构分

析, 结果发现, 该虫未受到遗传瓶颈效应影响, 9个种群整体的遗传多样性较高, 不存在杂合子缺失现象。南方各个省份间频繁的苗木调运以及该虫可能存在的多次入侵历史可能造成了上述的现象。较高的种群遗传多样性对种群提高抵抗外界环境压力的适应性以及增强其适应新环境的能力皆有重要作用 (Konečný *et al.*, 2013)。水椰八角铁甲可能通过这种遗传优势, 入侵我国并迅速蔓延 (田震宇, 2018)。水椰八角铁甲种群间遗传分化未受到地理距离的影响, 因而种群间分化主要源于其内部的遗传差异, 单向的从沿海苗圃至内陆城市的调运, 以及可能存在的地理距离和寄主植物差异等因素的影响 (田震宇, 2018)。

2 温度对水椰八角铁甲种群生长发育和繁殖的影响

水椰八角铁甲为完全变态昆虫 (图1, Tang and Hou, 2017), 幼虫经历4~5个龄期 (翁章权, 2010; 苏璐等, 2019)。水椰八角铁甲卵至蛹的发育起点温度为 $11.6 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$, 在 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 范围内皆可完成生长发育, 但最适的温度范围为 $26 \sim 29^{\circ}\text{C}$ (余凤玉等, 2007; Hou and Weng, 2010); 在 17.5°C 和 32.5°C 恒温下, 虽能完成发育过程, 但幼虫死亡率高, 蛹羽化率低, 且成虫无法产卵 (翁章权, 2010)。从卵到成虫大约需要5~9周, 成虫可存活150 d (Kalshoven, 1981; 翁章权, 2010; Tang and Hou, 2017), 在 20°C 时雌虫和雄虫的寿命可分别达178.7 d 和203.5 d (Hou and Weng, 2010)。在合适的温度范围内, 每只雌虫一生平均产卵量为47~120粒, 随着温度升高逐渐增加, 25°C 产卵量最高, 超过 25°C 后开始下降 (Hou and Weng, 2010); 卵在低温 15.0°C 和高温 35.0°C 下不能存活 (翁章权, 2010)。

水椰八角铁甲的过冷却点随着龄期的增加不断升高; 在 $16 \sim 29^{\circ}\text{C}$ 范围内, 温度对水椰八角铁甲的过冷却点的影响不明显, 在夏、秋两季的过冷却点显著高于春季和冬季 (贾腾蛟, 2010)。水椰八角铁甲耐寒性具有可塑性, 不同的低温驯化能够降低水椰八角铁甲的过冷却点, 增强其耐寒性, 但其可塑性范围是有限的 (华瑞香, 2013)。低温对水椰八角铁甲体内相关生理活性物质含量的影响是有限的, 因而水椰八角铁甲可以根据不同的外界环境条件调节最佳的生理状态, 以适应

新的环境而达到最强的适应性(华瑞香等, 2014)。水椰八角铁甲成虫的热耐受能力弱, 不具有耐热可塑性能力(华瑞香, 2013)。

综合以上以及水椰八角铁甲的有效积温、发育起始温度和全世界的分布情况等参数, 通过

CLIMEX 模拟表明我国东南和西南地区、华南沿海地区以及台湾大部分地区都为水椰八角铁甲的适生区, 而长江以南地区具备水椰八角铁甲定殖的可能性(贾腾蛟, 2010)。

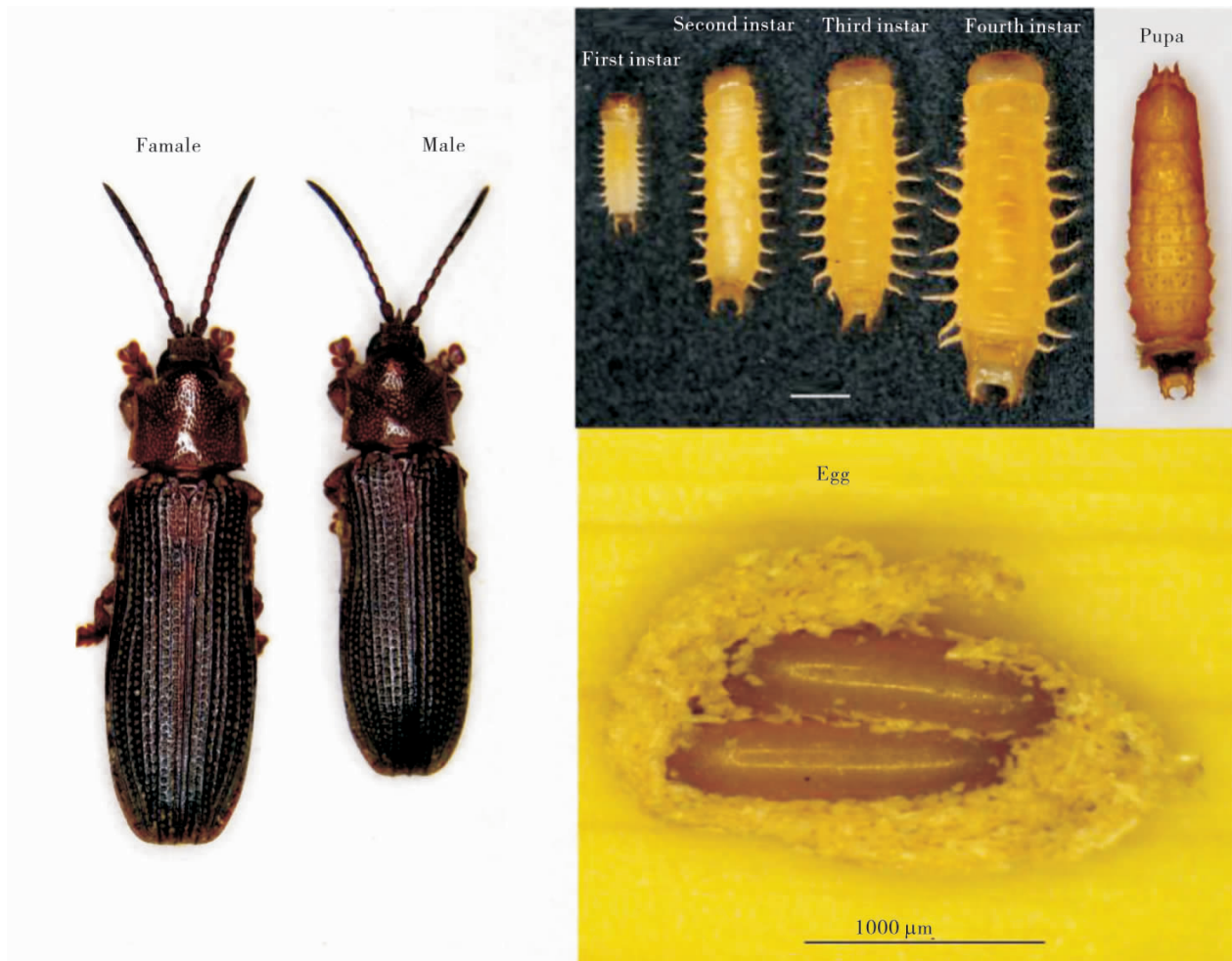


图1 水椰八角铁甲的形态特征 (Tang and Hou, 2017)

Fig. 1 Morphology of *Octodonta nipae*

3 水椰八角铁甲的寄主适应性

水椰八角铁甲是棕榈科植株的重要害虫, 棕榈科植株种类繁多, 明确水椰八角铁甲合适的寄主范围以及在寄主上的适应性可为明确其入侵机制和制定合适的水椰八角铁甲防治策略提供基础。余凤玉等(2009)分析了水椰八角铁甲在3种适宜寄主上的发育和繁殖力, 发现在金山葵 *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman 上产卵量最高(104粒)、发育历期也最短(40 d), 在大丝葵 *Washingtonia robusta* H. Wendl. 和海枣 *Phoenix*

dactylifera L. 上的产卵量约为40粒, 发育历期约为44 d, 但在大丝葵上的存活率仅为30%; 在没有任何天敌作用下, 水椰八角铁甲的下一代种群数量在金山葵上可增长47.14倍, 在海枣和大丝葵上分别增长6.43和5.64倍。当加拿利海枣 *Phoenix canariensis* Hort. ex Chabaud、棕榈 *Trachycarpus fortunei* (Hook. f.) Wendl.、刺葵 *Phoenix loureiroi* Kunth 和蒲葵 *Livistona chinensis* (Jacq.) R. Br 同时存在时, 水椰八角铁甲偏好加拿利海枣和棕榈, 而对蒲葵的选择性最差, 无法在蒲葵上产卵(张秩勇, 2010; 席博等, 2013; Hou et al., 2014)。野外调查也发现, 加拿利海枣危害

严重时, 邻近的蒲葵却不受影响 (Tang and Hou, 2017)。美丽珍葵 *Phoenix roebelenii* O' Brien 也是其适宜寄主, 但水椰八角铁甲对其适应性低于金山葵、加拿利海枣、棕榈和槟榔 *Areca catechu* Linn. (Hou *et al.*, 2014); Li 等 (2016) 也发现, 取食加拿利海枣的水椰八角铁甲雌成虫卵黄蛋白的表达量和卵孵化率显著高于取食美丽针葵。

漳州、厦门地区野外调查发现银海枣也是水椰八角铁甲的常见寄主。苏璐等 (2019) 分析水椰八角铁甲对银海枣和椰子的寄主选择时发现, 水椰八角铁甲在银海枣上的实验种群趋势指数为 12.55, 而在椰子上无法产卵, 因而在大面积种植椰子的海南岛, 水椰八角铁甲零星发生。类似地, 水椰八角铁甲无法在国王椰子 *Ravenia rivularis* Jumelle & Perrier 上完成发育 (Hou *et al.*, 2014)。

4 水椰八角铁甲的生殖策略

能够快速繁殖是入侵害虫适应新环境的重要因素之一, 而交配行为是昆虫繁殖的核心。多次

交配是昆虫采取的典型繁殖策略, 与单次交配相比, 多次交配不但增加了昆虫个体基因的遗传机会, 同时更提供了选择更优秀基因的机会 (胡阳, 2010)。室内饲养水椰八角铁甲的过程中发现, 多次交配现象极为普遍, 雌雄成虫都能与相同或者不同配偶进行多次交配 (张翔, 2015)。

水椰八角铁甲成虫羽化后需经过一段时间的取食才可交配, 雌雄成虫羽化后的交配起始期分别为 6.7 ± 1.9 d 和 15.2 ± 1.6 d, 但雌虫需在卵巢发育成熟后才可产卵, 一般在羽化后 19.8 ± 1.7 d 进入产卵期 (陈苗苗, 2012)。羽化后 28 ~ 32 d 为交配高峰期, 一天当中的任何时段均可交配, 平均每天可以交配约 13 次, 11:00 – 17:00 为交配高峰期, 其中 13:00 的交配频率最高 (陈苗苗, 2012; 张翔, 2015)。交配行为主要包括: 接近、触角拍击、爬跨的求偶行为, 就位、外生殖器插入、转身锁节、最后离开等步骤 (图 2); 交配行为在任何时段均可终止, 有时不经过转身锁节也可完成交配 (陈丽敏, 2013; 张翔, 2015)。

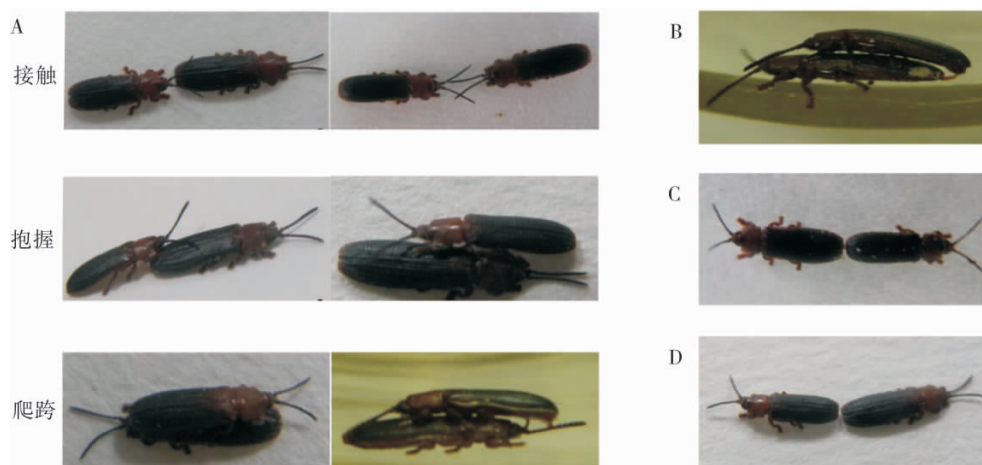


图 2 水椰八角铁甲的交配行为 (陈丽敏, 2013)

Fig. 2 Mating behaviors of *Octodonta nipae*

注: A, 求偶行为, 包括接触、抱握和爬跨; B、C 和 D 分别为插入、锁结和离开

Note: A, courtship behavior, including touching, grabbing and mounting; B, C and D mean behaviors of genital inserting, interlocking and leaving, respectively.

雌虫喜欢选择体重较小的雄虫进行交配, 雄虫则喜欢体重较大的雌虫, 雌雄虫喜欢选择性成熟度高的配偶进行交配, 但性成熟度相同时, 对配偶的日龄没有选择性; 未交配的雄虫倾向于未交配过的雌虫为配偶, 已交配过的雌虫喜欢已交配过的雄虫, 未交配的雌虫和已交配的雄虫则无

选择 (陈苗苗, 2012)。在识别定位配偶的过程中触角发挥重要作用, 视觉不是主要通讯信号 (陈丽敏, 2013)。成虫触角上存在着 6 类感受器, 包括单孔刺形感器、多孔锥形感器、无孔毛形感器、刺型感器、Bohm 氏感器和多孔毛型感器; 雌雄个体在触角长度和感器数量上存在性二型现象 (陈

丽敏, 2013; Peng *et al.*, 2018)。雌虫触角鞭节第 5 亚节和雄虫触角鞭节第 5~9 亚节可能与感受性信息素功能有关 (陈丽敏, 2013; Peng *et al.*, 2018)。此外, 雄性表皮碳氢化合物的种类和含量也与雌性配偶选择成功率密切相关, 包括 7 种正构烷烃、1 种单甲基烷烃、2 种正构烯烃和 2 种环烷烃 (向海军, 2018)。

不同交配次数影响雌虫的繁殖力, 在设定的 1、5、10、15、20 次交配频率处理下, 交配 15 次的产卵前期时间最短 (19.8 d), 产卵量 (129 枚) 和卵孵化率最高 (80%), 说明水椰八角铁甲存在一个最优交配次数; 多次交配可使种群增长指数 (*I* 值) 随着交配频率的上升而增加, 交配 15 次为 25.77, 而交配 1 次仅为 1.84, 多次交配还可使子代雌性成虫的体重显著增加; 但交配频率过高会影响雌雄成虫的寿命, 交配 20 次的雌虫寿命最短; 上述结果表明, 水椰八角铁甲的多次交配存在雌虫对交配成本和交配受益的资源分配权衡 (Li *et al.*, 2014; 张翔, 2015)。

水椰八角铁甲的精子竞争模式为最后雄性精子优先, 在 P_2 实验中, 最后交配的雄虫后代比例达 95% 左右; 雌虫与第一头雄虫交配时长约 62 min, 与第二头雄虫交配时长长达 125 min 左右, 最后交配的雄虫会通过延长交配时长来获得精子竞争优势 (陈俊, 2015)。雌性高度骨化的受精囊以及细长而狭小的连接受精囊和生殖腔的导管, 可能会导致两头雄虫的精子出现精子分层现象, 精子取代反应只发生在生殖腔内, 这可能是造成最后雄性精子优先的重要因素之一 (陈俊, 2015)。多次交配能补充雌虫产卵等损耗的精子, 使雌虫受精囊内的精子总数保持稳定; 还可产生新的基因型, 增加后代遗传多样性 (陈俊, 2015)。通过多次交配, 雌虫可使后代获得更多的基因多样性, 雄虫则可提高延续自身遗传基因的概率, 与雌虫进行重复交配巩固其父权 (张翔, 2015)。

5 水椰八角铁甲应对病原微生物和寄生蜂的免疫响应

入侵害虫到达新环境, 必然面临着微生物的感染、天敌以及其它多方面的挑战。探究水椰八角铁甲入侵后免疫相关适应性可为揭示其入侵机制以及开发以免疫系统为靶标的新型抑制剂提供

基础。

昆虫不具有获得性免疫系统, 只能依赖其发达的先天免疫系统, 包括细胞免疫和体液免疫。细胞免疫主要有吞噬、凝集、结节与包囊反应; 体液免疫主要包括抗菌肽合成、血淋巴黑化及蛋白酶水解级联反应等过程 (张明明等, 2012)。水椰八角铁甲体内至少存在 5 种血细胞, 包括原血细胞、粒血细胞、浆血细胞、类绦色细胞和珠血细胞, 其中主要免疫血细胞类型为粒血细胞、浆血细胞和类绦色细胞 (Meng *et al.*, 2016; 孟娥, 2017)。其体内至少存在 3 个酚氧化酶原激活因子 (proPO-activating factors, PPAFs), 包括 PPAF₁、PPAF₂ 和 PPAF₃, 其中 PPAF₁ 和 PPAF₃ 是调控酚氧化酶级联反应的关键酶 (Zhang *et al.*, 2017; 张华剑, 2017)。在介导细胞免疫和体液免疫中, C 型凝集素 (C-type lectins, CTLs) 作为模式识别蛋白扮演着重要角色, 但也存在着功能的分化。Zhang 等 (2019) 发现水椰八角铁甲体内的 CTL1 主要介导病原菌的识别和酚氧化酶级联反应的激活, 而 CTL2 主要在增强细胞免疫反应中起作用。

用革兰氏阴性细菌细胞壁提取物脂多糖可诱导水椰八角铁甲雌雄成虫的免疫响应, 雄虫的免疫响应时间早于雌虫, 但雌虫的免疫响应程度高于雄性 (冯珊珊和侯有明, 2015)。除此之外, 关于水椰八角铁甲应对不良环境的免疫响应目前较多集中在其与天敌昆虫病原线虫和椰扁甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae* (Ferrière) 间的互作。

昆虫病原线虫在生物防治上具有重要的应用, 目前应用比较广泛的有斯氏线虫科和异小杆线虫科。当用小卷蛾斯氏线虫 *Steinernema carpocapsae* 和嗜菌异小杆线虫 *Heterorhabditis bacteriophora* 及它们各自的共生嗜线虫致病杆菌 *Xenorhabdus nematophila* 和发光光状杆菌 *Photorhabdus luminescens* 感染水椰八角铁甲时, 抗菌肽 attacin C₁、attacin C₁ 和 defensin 2B 的表达量显著升高 (Sanda *et al.*, 2019), 但只有小卷蛾斯氏线虫及其表皮提取物可成功躲避水椰八角铁甲的包囊反应, 嗜菌异小杆线虫在 1 h 即可被水椰八角铁甲包囊 (Sanda *et al.*, 2018)。

椰扁甲啮小蜂属小蜂总科, 姬小蜂科, 可用于防治水椰八角铁甲和椰心叶甲, 效果显著 (Voegelé, 1989; 吕宝乾等, 2006; Tang *et al.*, 2014b)。椰扁甲啮小蜂体内不含多分 DNA 病毒 (polydnavirus, PDV) 与类病毒纤丝 (virus-like

filaments, VLFs), 毒液是其主要的寄生因子, 但在寄生初期, 卵表的类脂细胞膜相关蛋白是其主要的保护因子之一 (图 3) (Meng *et al.*, 2018)。毒器官由肠状毒腺和泪滴状毒囊组成, 毒液中的蛋白大致分为结合蛋白、酶、蛋白酶抑制剂和其

它蛋白等几类, 也包含一些特有的毒液蛋白, 如 4-香豆酸辅酶 A 连接酶 (4-coumarate: CoA ligase) (孟娥, 2017; Tang *et al.*, 2019), 该毒液蛋白还可抑制水椰八角铁甲的包裹反应、延展以及对大肠杆菌的吞噬作用 (Zhang *et al.*, 2019)。

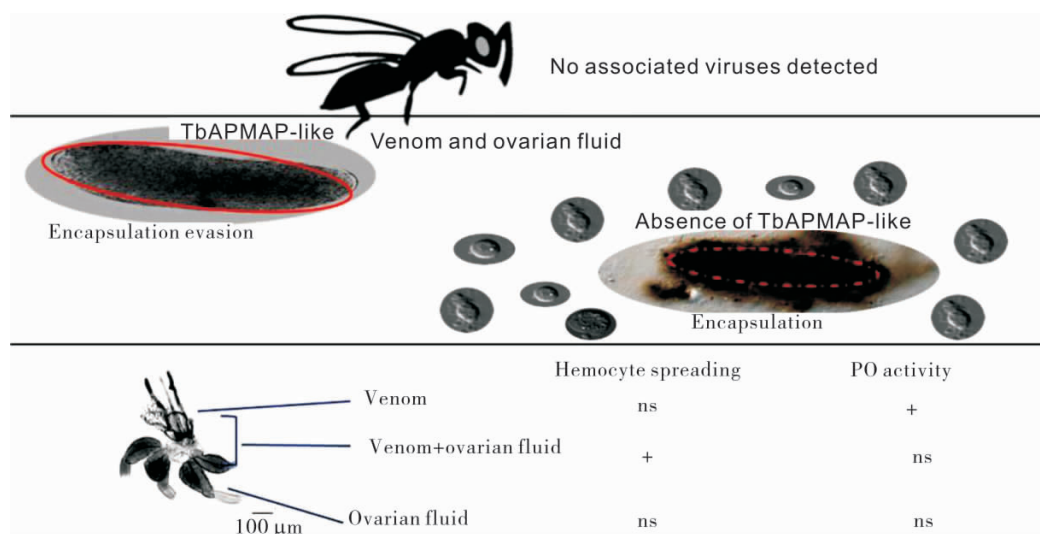


图 3 椰扁甲啮小蜂蜂卵表面的类脂细胞膜相关蛋白在保护蜂卵不被包裹中的作用 (Meng *et al.*, 2018)

Fig. 3 Role of *Tetrastichus brontispae* adipocyte plasma membrane associated protein-like (TbAPMAP-like) on the surface of wasp eggs in protecting wasp eggs from encapsulation by host haemocytes

椰扁甲啮小蜂寄生后可引起水椰八角铁甲相关免疫基因发生差异表达, 如包裹反应和黑化反应相关的基因 (Tang *et al.*, 2014a)。在其寄生和寄生因子注射初期, 水椰八角铁甲蛹的免疫反应被激活, 但在椰扁甲啮小蜂幼虫期, 水椰八角铁甲蛹的黑化反应被抑制 (孟娥, 2017)。黑化反应被抑制的可能原因之一为椰扁甲啮小蜂毒液中的丝氨酸蛋白酶抑制剂 Tbserpin6 结构与水椰八角铁甲 Onserpin6 相似, 也能与水椰八角铁甲 PPAF1 结合形成共价复合物, 进而调控水椰八角铁甲的酚氧化酶级联反应 (Zhang *et al.*, 2017)。

6 总结与展望

棕榈科植物用途广泛, 不仅是我国热带和亚热带地区珍贵的园林观赏植物资源, 也是重要的经济作物之一, 如椰子、华盛顿椰子、刺葵、蒲葵、加拿利海枣等, 为当地经济的发展和环境建设做出了重要贡献。水椰八角铁甲是棕榈科植物的重要害虫之一, 入侵我国后, 对我国带来重大影响, 破坏了自然生态和园林绿化景观, 威胁了苗圃的经济利益, 严重阻碍了当地园林产业的顺

利发展。

目前关于水椰八角铁甲的入侵机制仅从温度、寄主植物、繁殖交配和免疫等方面展开, 其他如细菌共生生物在水椰八角铁甲入侵过程中的作用机制等还有待深入分析。已表明水椰八角铁甲在发育变态过程中占主导地位的共生细菌包括变形菌门 Proteobacteria、放线菌门 Actinobacteria 和厚壁菌门 Firmicutes; 卵至蛹期主要为肠杆菌科 Enterobacteriaceae 和皮杆菌科 Dermabacteraceae, 成虫阶段及生殖系统主要为无形小体科 Anaplasmatidae; 属水平上, 卵期主要为沙雷氏菌 *Serratia* 和乳球菌 *Lactococcus*, 幼虫和蛹期主要为泛菌 *Pantoea* 和短状杆菌 *Brachybacterium* (Ali *et al.*, 2019)。此外, 近年来随着三代测序技术如 PacBio Sequel、BioNano Saphyr 平台的快速发展, 对水椰八角铁甲的全基因组进行测序将有利于发现其更多的入侵机制。

在对水椰八角铁甲的预防和控制中, 主要从检疫和治理两方面展开。水椰八角铁甲在我国的传播途径主要是苗木调运, 加强植物检疫可以有效防止其继续入侵我国。水椰八角铁甲和棕榈科植物的另一种主要入侵害虫椰心叶甲在形态和取

食危害上极其相似, 因此首先在检验检疫方面必须具备扎实的业务技能。目前已开发出两种可用于快速且有效区分两种害虫的方法, 一种基于沃尔巴克氏菌 *Wolcchia*, 沃尔巴克氏菌在水椰八角铁甲的整个生活史阶段皆存在, 且其主要为 *Wolcchia*-A 亚群, 而椰心叶甲为 *Wolcchia*-B 亚群 (Ali *et al.*, 2018a, 2018b); 另一种基于 internal transcribed spacer (ITS) 和线粒体 DNA cytochrome oxidase I (COI) 序列 (Zhang *et al.*, 2015)。关于水椰八角铁甲的防治, 目前除了有效的化学防治如椰甲清外, 还需大力发展生物防治, 如绿僵菌对水椰八角铁甲幼虫和成虫皆具有高的致病力 (徐利等, 2011), 还有嗜菌异小杆线虫 (Sanda *et al.*, 2018) 和椰扁甲啮小蜂等 (Tang *et al.*, 2014b)。

参考文献 (References)

- Ali H, Muhammad A, Islam SU, *et al.* A novel bacterial symbiont association in the hispid beetle, *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae), their dynamics and phylogeny [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2018a, 118: 378–386.
- Ali H, Muhammad A, Sanda NB, *et al.* Pyrosequencing uncovers a shift in bacterial communities across life stages of *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 10: 466.
- Ali H, Muhammad A, Sanda NB, *et al.* The endosymbiotic *Wolbachia* and host COI gene enables to distinguish between two invasive palm pests; coconut leaf beetle, *Brontispa longissima* and hispid leaf beetle, *Octodonta nipae* [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2018b, 111 (6): 2894–2902.
- Chen J. Paternity Identification Technology and Sperm Competition Pattern of *Octodonta nipae* (Maulik) [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015. [陈俊. 水椰八角铁甲的父权鉴定技术与精子竞争模式研究 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2015]
- Chen LM. Mechanism of Antennae in the Mate Recognition and Location of *Octodonta nipae* (Maulik) (Coleoptera: Chrysomelidae) [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013. [陈丽敏. 水椰八角铁甲成虫触角在配偶识别和定位中的作用机理 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2013]
- Chen MM. Studies on the Sexual Selection and Copulation of *Octodonta nipae* (Maulik) (Coleoptera: Chrysomelidae) [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012. [陈苗苗. 水椰八角铁甲性选择及交配行为的研究 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2012]
- Feng SS, Hou YM. Lipopolysaccharide – induced immune response of *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) adults in relation to their genders [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (1): 28–37.
- Grant V. The evolutionary process: A critical study of evolutionary theory: Columbia University Press [J]. *Archives of Natural History*, 1993, 20 (1): 143–143.
- Gressitt JL. Papuan – West polynesian Hispine Beetles (Chrysomelidae) [J]. *Pacific Insects*, 1960, 2 (4): 9–13.
- Hou YM, Miao YX, Zhang ZY. Study on life table parameters of the invasive species *Octodonta nipae* (Maulik) (Coleoptera: Chrysomelidae) on different palm species, under laboratory conditions [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014, 107: 1486–1495.
- Hou YM, Weng ZQ. Temperature – dependent development and life table parameters of *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2010, 39 (5): 1676–1684.
- Hu Y, Yang H, Li ZY, *et al.* Mating strategies and benefits of multiple mated insects [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (1): 16–23. [胡阳, 杨洪, 李志宇, 等. 昆虫多次交配的策略和利益 [J]. 应用昆虫学报, 2010, 47 (1): 16–23]
- Hua RX, Hou YM, Shi ZH. Changes in the contents of physiologically active substances in *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) after low temperature acclimation [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (3): 265–273. [华瑞香, 侯有明, 石章红. 低温驯化后水椰八角铁甲生理活性物质含量的变化 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (3): 265–273]
- Hua RX. Effects of Acclimation Temperature on the Cold Tolerance and Heat Tolerance in *Octodonta nipae* (Maulik) [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013. [华瑞香. 温度驯化对水椰八角铁甲耐寒性和耐热性的影响 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2013]
- Hughes J, Dorn S. Sexual differences in the flight performance of the oriental fruit moth, *Cydia molesta* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2002, 103 (2): 171–182.
- Jia TJ. Research on the Supercooling Point and Suitability of *Octodonta nipae* in China [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010. [贾腾蛟. 水椰八角铁甲 *Octodonta nipae* 的过冷却点研究及适生性分析 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2010]
- Kalshoven LGE. Pest of Crops in Indonesia [M]. Ichtiar Baru–Van Hove, Jakarta, Indonesia, 1981.
- Konečný A, Estoup A, Duplantier JM, *et al.* Invasion genetics of the introduced black rat (*Rattus rattus*) in Senegal, West Africa [J]. *Molecular Ecology*, 2013, 22 (2): 286–300.
- Li JL, Tang BZ, Hou YM, *et al.* Molecular cloning and expression of the vitellogenin gene and its correlation with ovarian development in an invasive pest *Octodonta nipae* on two host plants [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2016, 106: 642–650.
- Li JL, Zhang X, Hou YM, *et al.* Effects of multiple mating on the fecundity of an invasive pest (*Octodonta nipae*): The existence of an intermediate optimal female mating rate [J]. *Physiological Entomology*, 2014, 39: 348–354.

- Lv BQ, Peng ZQ, Xu CA, *et al.* Biological characteristics of *Tetrastichus brontispae* Ferrière (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Brontispa longissima* (Gestro) (Coleoptera: Hispididae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49 (4): 643–649. [吕宝乾, 彭正强, 许春霖, 等. 椰心叶甲蛹寄生蜂——椰心叶甲啮小蜂的生物学特性 [J]. 昆虫学报, 2006, 49 (4): 643–649]
- Maulik S. A new hispid beetle injurious to nipa palm [J]. *Annals and Magazine of Natural History*, 1921, 7 (9): 451–452.
- Meng E, Qiao T, Tang BZ, *et al.* Effects of ovarian fluid, venom and egg surface characteristics of *Tetrastichus brontispae* (Hymenoptera: Eulophidae) on the immune response of *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2018, 109: 125–137.
- Meng E, Tang BZ, Hou YM, *et al.* Altered immune response of *Octodonta nipae* (Maulik) to its pupal endoparasitoid, *Tetrastichus brontispae* Ferrière [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology B – Biochemistry & Molecular Biology*, 2016, 198: 100–109.
- Meng E. The Parasitic Factors of *Tetrastichus brontispae* during Egg Stage and Their Inhibitory Effects on the Host Immune Response of *Octodonta nipae* Pupae [D]. Doctoral dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017. [孟娥. 椰扁甲啮小蜂卵期寄生因子特性及其对寄主水椰八角铁甲蛹的免疫抑制作用 [D]. 博士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2017]
- Peng LF, Chen LM, Li JL, *et al.* Mate recognition and antennal morphology of *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) adults [J]. *Journal of Asia – Pacific Entomology*, 2018, 21: 268–278.
- Sanda NB, Hou BF, Muhammad A, *et al.* Exploring the role of relish on antimicrobial peptide expressions (amps) upon nematode – bacteria complex challenge in the nipa palm hispid beetle, *Octodonta nipae* (Maulik) (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 10: 2466.
- Sanda NB, Muhammad A, Ali H, *et al.* Entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* surpasses the cellular immune responses of the hispid beetle, *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2018, 124: 337–345.
- Staines CL. Catalog of the hispines of the world (Coleoptera: Chrysomelidae: Cassidinae). Tribe Cryptonychini, 2012, http://entomology.si.edu/Collections_Coleoptera-Hispines.html [Accessed 6 July 2012].
- Su L, Lv BQ, Peng ZQ, *et al.* Host preference of *Octodonta nipae* and *Brontispa longissima* to *Cocos nucifera* and *Phoenix sylvestris* [J]. *Journal of Biosafety*, 2019, 28 (1): 24–28. [苏璐, 吕宝乾, 彭正强, 等. 水椰八角铁甲和椰心叶甲对椰子和银海枣的寄主选择性 [J]. 生物安全学报, 2019, 28 (1): 24–28]
- Sun JH, Yu PY, Zhang YZ, *et al.* A new invasive coconut pest in Hainan province [J]. *Entomological Knowledge*, 2003, 40 (3): 286–287. [孙江华, 虞佩玉, 张彦周, 等. 海南省新发现的林业外来入侵害虫——水椰八角铁甲 [J]. 昆虫知识, 2003, 40 (3): 286–287]
- Tang BZ, Chen J, Hou YM, *et al.* Transcriptome immune analysis of the invasive beetle *Octodonta nipae* (Maulik) (Coleoptera: Chrysomelidae) parasitized by *Tetrastichus brontispae* Ferrière (Hymenoptera: Eulophidae) [J]. *PLoS ONE*, 2014a, 9 (3): e91482.
- Tang BZ, Hou YM. Nipa palm hispid beetle *Octodonta nipae* (Maulik). In: Wan FH, Jiang MX, Zhan AB, eds. *Biological Invasions and Its Management in China* [C]. Springer Nature, The Netherlands, 2017: pp. 257–266.
- Tang BZ, Meng E, Zhang HJ, *et al.* Combination of label – free quantitative proteomics and transcriptomics reveals intraspecific venom variation between the two strains of *Tetrastichus brontispae*, a parasitoid of two invasive beetles [J]. *Journal of Proteomics*, 2019, 192: 37–53.
- Tang BZ, Xu L, Hou YM. Effects of rearing conditions on the parasitism of *Tetrastichus brontispae* on its pupal host *Octodonta nipae* [J]. *Biocontrol*, 2014b, 59 (6): 647–657.
- Tian ZY. Genetic Diversity and Genetic Structure Analysis of Different Geographical Populations of *Octodonta nipae* in China [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2018. [田震宇. 中国水椰八角铁甲不同地理种群遗传多样性和遗传结构分析 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2018]
- Voegele, JM. Biological control of *Brontispa longissima* in Western Samoa: An ecological and economic evaluation. In: Paoletti MG, Stinner BR, Lorenzoni GG, eds. *Agricultural Ecology and Environment* [C]. Elsevier, Amsterdam, 1989: pp. 315–329.
- Weng ZQ. The Morphological Character of *Octodonta nipae* (Maulik) and the Effects of Temperature and Food Utilization on Its Growth and Development [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010. [翁章权. 水椰八角铁甲形态观察及温度、食物利用对其生长发育的影响 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2010]
- Xi B, Zhang ZY, Hou YM, *et al.* Effects of host plants on the developmental duration, feeding and reproduction of the nipa palm hispid, *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013, 56 (7): 799–806. [席博, 张秩勇, 侯有明, 等. 寄主植物对水椰八角铁甲发育历期、取食和繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2013, 56 (7): 799–806]
- Xiang HJ. Study on the Roles of Male *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) Cuticular Hydrocarbons in Female Mating Choice [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2018. [向海军. 水椰八角铁甲雄性表皮碳氢化合物在雌性配偶选择中的作用研究 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2018]
- Xu L, Lan JL, Hou YM, *et al.* Molecular identification and pathogenicity assay on *Metarhizium* against *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (4): 922–927. [徐利, 蓝江林, 侯有明, 等. 感染水椰八角铁甲的绿僵菌的分子鉴定及致病力测定 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (4): 922–927]
- Yu FY, Ma ZL, Li CX, *et al.* Effects of temperature on the development of *Octodonta nipae* (Maulik, 1921) [J]. *Entomological Journal of East China*, 2007, 16 (4): 264–267. [余凤玉, 马子龙, 李朝绪, 等. 温度对水椰八角甲生长发育的影响 [J]. 华东昆虫学

- 报, 2007, 16 (4): 264 – 267]
- Yu FY, Qin WQ, M ZL, *et al.* Effects of host plants on development and fecundity of *Octodonta nipae* [J]. *Plant Protection*, 2009, 35 (2): 72 – 74. [余凤玉, 覃伟权, 马子龙, 等. 寄主植物对水椰八角铁甲生长发育和繁殖力的影响 [J]. 植物保护, 2009, 35 (2): 72 – 74]
- Zhang HJ, Lin YP, Liu M, *et al.* Functional conservation and division of two single carbohydrate – recognition domain C – type lectins from the nipa palm hispid beetle *Octodonta nipae* (Maulik) [J]. *Developmental and Comparative Immunology*, 2019, 100: 103416.
- Zhang HJ, Tang BZ, Lin YP, *et al.* Identification of three prophenoloxidase – activating factors (PPAFs) from an invasive beetle *Octodonta nipae* (Maulik) (Coleoptera: Chrysomelidae) and their roles in the prophenoloxidase activation [J]. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 2017, 96: e21425.
- Zhang HJ. Mechanism of Inhibition of *Octodonta nipae* Prophenoloxidase Cascade by A Venom Protein, Tbserpin6, from *Tetrastichus brontispae* [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017. [张华剑. 椰扁甲啮小蜂毒液蛋白 Tbserpin6 抑制水椰八角铁甲蛹原酚氧化酶反应的机理 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2017]
- Zhang MM, Chu Y, Zhao ZW, *et al.* Progress in the molecular mechanisms of the innate immune responses in insects [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (10): 1221 – 1229. [张明明, 初源, 赵章武, 等. 昆虫天然免疫反应分子机制研究进展 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (10): 1221 – 1229]
- Zhang X, Tang BZ, Hou YM. A rapid diagnostic technique to discriminate between two pests of palms, *Brontispa longissima* and *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae), for quarantine applications [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2015, 108 (1): 95 – 99.
- Zhang X. Multiple – mating Behavior and Its Reproductive Benefit on *Octodonta nipae* [D]. Doctoral dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015. [张翔. 水椰八角铁甲多次交配行为及其繁殖受益 [D]. 博士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2015]
- Zhang XM, Zhang HJ, Liu M, *et al.* Cloning and immunosuppressive properties of an acyl – activating enzyme from the venom apparatus of *Tetrastichus brontispae* (Hymenoptera: Eulophidae) [J]. *Toxins*, 2019, 11: 672.
- Zhang ZY. Studies on the Adaptation of *Octodonta nipae* (Maulik) in Different Species Hosts [D]. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010. [张秩勇. 水椰八角铁甲寄主适应性研究 [D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2010]