

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.03.005

红火蚁的危害分析及生物防控技术

杨志刚¹, 王小松², 郭迪金³, 冯波⁴

- 四川省乐山市农业农村局植保植检站, 四川 乐山 614099;
- 四川省绵阳市农业农村局植保植检站, 四川 绵阳 621050;
- 四川省农业农村厅植物检疫站, 成都 610041;
- 绵阳师范学院生命科学与技术学院, 四川 绵阳 621000

摘要: 红火蚁被认为是世界上最具破坏性的入侵物种之一, 严重为害我国林业、农业和人类健康。本文简要分析了红火蚁的为害、入侵扩散特点及影响因素, 最后重点概述了红火蚁的生物防控措施, 包括鸟类、蜻蜓、捕食性甲虫等捕食性天敌, 蚤蝇、蚁小蜂、捻翅虫、寄生蚁、寄生性线虫、火蚁微孢子虫等寄生性天敌, 白僵菌、绿僵菌、细菌、病毒等病原微生物和多杀菌素等生物农药。这些生物防控方法具有经济、有用、安全、污染小和产生抗药性慢等优势, 研究结果为我国红火蚁定殖区费省效宏的防控提供了理论参考。

关键词: 红火蚁; 入侵; 危害;
生物防控; 天敌

中图分类号: S433; Q969.554.2

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2023)03-0051-08

Hazard Analysis and Biological Control Technology of Red Fire Ant

YANG Zhigang¹, WANG Xiaosong²,
GUO Dijin³, FENG Bo⁴

- Plant Protection and Quarantine Station, Leshan Agriculture and Rural Bureau, Leshan Sichuan 614099, China;
- Plant Protection and Quarantine Station, Mianyang Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Mianyang Sichuan 621050, China;
- Plant Quarantine Station, Agriculture and Rural Affairs Department of Sichuan Province, Chengdu 610041, China;
- College of Life Science and Technology, Mianyang Normal University, Mianyang Sichuan 621000, China

Abstract: Red fire ant is regarded as one of the most destructive invasive species in the world,

收稿日期: 2023-05-18

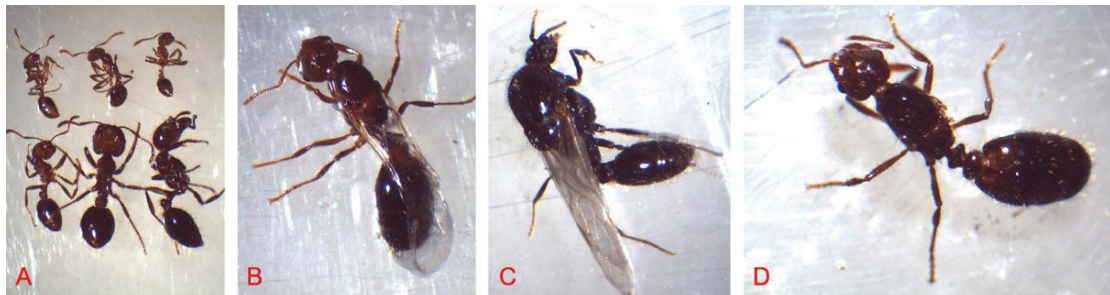
作者简介: 杨志刚, 硕士, 高级农艺师, 主要从事农作物病虫害预测预报, 新药剂的推广与应用研究。

通信作者: 冯波, 博士, 副研究员。

which seriously endangers Chinese forestry, agriculture and human health. This paper briefly analyzed the damage, invasion and spread characteristics of red fire ants and influencing factors. Finally, it focused on the biological control measures of red fire ants, including predatory natural enemies such as birds, dragonflies and predatory beetles, parasitic natural enemies such as flea flies, parasitic bees, pterygodes, parasitic ants, parasitic nematodes, and fire ant microsporidium, also *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, bacteria, viruses and other pathogenic microorganisms and biopesticides such as polygermicide. These biological control methods are economical, useful, safe, low pollution and slow to develop drug resistance. The results of this study provide a theoretical reference for the prevention and control of red fire ant colonies in China.

Key words: red fire ant; invade; harm; biological prevention and control; natural enemy

红火蚁(*Solenopsis invicta* Buren)又称为进口火蚁、南美火蚁,是来自南美洲的入侵性蚂蚁,是一种社会性昆虫^[1].蚁后是整个红火蚁群体的核心,负责产卵和维持群体繁殖(图1).工蚁负责群体的日常生活,包括寻找食物、照顾幼蚁、修建和维护巢穴等.根据体型大小,工蚁可以分为大工蚁和小工蚁.雄蚁在繁殖季节与蚁后交配后就死亡.



A: 工蚁; B: 有翅雌蚁; C: 有翅雄蚁; D: 繁殖蚁

图1 红火蚁的社会等级

1 红火蚁的危害

红火蚁是一种攻击性非常强的蚂蚁,当它们感到威胁时,会立即发动攻击,并释放出一种强烈的刺激性气味来吸引其他蚂蚁前来攻击^[1].被攻击者会感到疼痛和灼热,甚至危及生命.红火蚁也被认为是世界上最具有破坏性的入侵物种之一,它在入侵地区破坏生态平衡,危害农业生产、野生动植物和人类健康.

1.1 红火蚁的攻击性

当红火蚁受到威胁时,它们会攀爬到被攻击对象的皮肤表面,利用颚部咬住皮肤,然后将腹部末端的毒针插入皮肤内,喷出一种含有毒性的酸液^[1].患者蜇伤局部会出现瘙痒、疼痛、红斑、肿胀、脓疱等一种或多种过敏症状,部分患者会伴有荨麻疹、血管性水肿、头晕、发热、喉头水肿等不同程度的全身过敏反应,严重情况下可能会出现过敏性休克甚至死亡等症^[2-3].另外蜇伤处的脓疱破裂后可能出现继发细菌感染^[3].红火蚁在攻击时会释放出警戒素和招集素,以吸引更多的工蚁加入战斗,组成一个大军攻击入侵者.因此红火蚁的攻击行为具有组织性且非常凶猛.

红火蚁的蚁窝埋藏在地下,人们误踩进蚁窝时,会导致被大面积蚂蚁攻击.对我国某驻岛礁官兵的调查表明,70%以上曾多次被蜇伤,蜇伤部位最多的为四肢,所有患者均有蜇伤局部过敏症状,近20%患者伴全身过敏反应^[3].红火蚁蜇伤主要采取对症支持治疗,平均疗程为11.4 d,目前尚无特效解毒药^[3].另外,2017年2月至2020年3月,仅福建省漳州市第三医院就救治了23例红火蚁蜇伤致过敏性休克患者,治疗措施包括抗休克、抗过敏、开放气道及对症支持治疗等^[4].红火蚁对人类健康的危害导致人们常常担心自己或家人被红火蚁叮咬,使红火蚁发生区的居民在精神和生理上产生不适,因此红火蚁的攻击性对人们的日常生活造成困扰.

1.2 红火蚁的破坏性

红火蚁被认为是世界上最具破坏性的入侵物种之一,在入侵地区的传播速度非常快,每年可以扩散数千公里.红火蚁繁殖能力强,适应性强,在入侵地区破坏生态平衡,为害农业生产、野生动植物健康.

1)破坏生态平衡.红火蚁会大量摄食其他昆虫和无脊椎动物,特别是蚂蚁、蜜蜂等其他膜翅目昆虫,对当地的昆虫种群产生直接威胁,导致生态系统的生物多样性受到损害^[5].同时红火蚁具有高度的竞争性和适应性,它们会通过大规模迁徙和繁殖占领新的领土,并把原有物种排挤出去^[6].对于许多动物来说,失去了生境,也就无法维持其种群,进一步破坏当地的生态系统平衡.据统计,在红火蚁入侵严重的地区,当地蚂蚁种类仅剩30%,在部分地区,当地蚂蚁数量减少甚至高达90%^[6].不仅如此,红火蚁还对其他节肢动物如蜘蛛、蝇类、蜗牛、两栖动物、孵化阶段的蛇、鸟及哺乳动物幼体等带来严重威胁.

威胁农业生产.红火蚁会取食种植在地面的作物,包括蔬菜、水果和农作物等,尤其喜欢啃咬甘蔗、花生、茶叶等农作物,导致严重的农业生产损失^[7].红火蚁通过取食小麦、谷类和高粱等作物种子,在播种期造成缺苗断垄,在收获期减少作物产量,直接造成产量损失.红火蚁还可以为害植株根部、幼芽和未成熟的果实,造成植物生长受损、产量降低^[8].在湖南省张家界市,每年将有6万hm²作物受到红火蚁的为害;每公顷产值损失(含弃耕丢荒)750元;因防治红火蚁多出防治及耕种成本750元计,种植业年经济损失将超过1亿元^[8].

危害设施设备.红火蚁的大量滋生,将对公共设施产生一定程度危害.红火蚁喜欢在空调外机、交通信号机箱、供电仪表、家用电器等电器设备中大量滋生,可咬掉电线、电缆的绝缘层,携带泥土进入设备中,造成电路短路,危害公共设施^[5].另外红火蚁还可直接破坏电话总机箱、机场着陆灯、油井或水井的电泵、计算机、小汽车的电路系统等^[5].据估计,红火蚁对美国公共设施和电器所造成的直接损失每年超过一千万美元,红火蚁危害公共设施和电器造成的间接经济损失每年更是高达10亿美元^[7].

2 红火蚁入侵特点及影响因素

2.1 红火蚁的人为传播

人为传播主要指园艺植物、草皮、废土、堆肥通过园艺农耕机具设备、空货柜、车辆等运输工具等作长距离运输时,其携带的红火蚁进行长距离传播.据国外报道,苗木、草皮等植物产品的转运是人为传播红火蚁的主要途径.在美国,由于人为传播,红火蚁平均以每年198 km的速度向外扩散^[9].2001年澳大利亚、新西兰发现入侵红火蚁可能就是因进口盆栽植物货柜底层沾附带有红火蚁蚁巢的土壤而带入境^[10].随着世界经济贸易进程的不断深入,各个国家地区之

间农产品交换日益频繁, 这为红火蚁的长距离人为传播提供了可能和便利条件。

2.2 红火蚁的自然扩散

自然扩散主要是依靠生殖蚁婚飞或者随洪水流动扩散, 也可搬巢作短距离移动。每年红火蚁婚飞季节, 成年蚁巢有大量有翅成虫飞出进行婚飞, 雌、雄蚁飞到 90~300 m 的高空中进行配对交配, 雌蚁交尾后飞行 3 000~5 000 m 降落建立新的巢穴, 如有风力助飞则可扩散更远^[5]。洪水到来时, 红火蚁将会集体从巢穴中爬出, 洪水中漂流的蚂蚁, 只要碰上同类, 就紧紧拉住, 拉扯在一起的蚂蚁越来越多, 在水面上就形成了用自己身体连结成的蚁船^[11]。蚁后在蚁船的最中心位置, 身边是幼蚁, 工蚁则按老弱强的排序依次排列^[11]。蚁船顺流而下, 只要有工蚁抓住了救命之物, 则整个蚁船将会在附近建立新的巢穴, 因此季节性洪水泛滥地区容易被红火蚁入侵。当蚁巢受到攻击或者遇到害虫防治时, 红火蚁就会进行搬巢, 一般搬巢的距离约在几米或者十几米之间。

2.3 红火蚁入侵的影响因素

一般认为起源于热带和亚热带地区的红火蚁没有抵御严寒的机制, 以非睡眠状态越冬。高纬度地区的冬季低温是限制红火蚁向两极扩散的决定性因素, 也是用于预测红火蚁潜在分布区的重要指标之一。在美国, 红火蚁分布于年最低温度-12.3 °C 以南区域, 应用蚁群生长模型进行预测的结果表明红火蚁在年最低温度-17.8 °C 以下的地区无法繁衍^[12]。国内研究表明, 从 10 月份开始红火蚁野外种群的过冷却点开始下降, 在 2 月达到最低, 为-12.68 °C, 3 月回升到-9.51 °C^[12]。当土壤(5 cm)温度低于 5 °C、空气温度低于 7 °C、裸地温度低于 9 °C, 工蚁停止外出觅食。当温度高于 10 °C 时工蚁开始觅食, 持续觅食阶段温度为 19 °C 以上, 最适觅食温度在 22~36 °C。湿度对红火蚁也非常重要, 蚁穴常见于小溪、水沟、河流、池塘及湖泊附近。刚交配的雌蚁易受湿地或反光表面的吸引。干旱条件可能阻止红火蚁向美国西部的扩散^[9]。

3 生物防控技术

目前红火蚁的防控主要采用化学防控, 运用化学制剂杀死红火蚁, 包括饵剂诱杀和触杀^[13]。虽然化学防控可以快速有效地杀死已监测到的红火蚁, 但如果操作不当或防控有遗漏, 极易造成环境污染、生态破坏、红火蚁产生抗药性和再生猖獗。

红火蚁在原生地的种群密度不高, 不能成灾, 其主要原因就是原生地有天敌生物的制约, 而入侵地没有。从 20 世纪 70 年代开始, 美国就开始尝试采用天敌控制红火蚁的种群数量。和化学防控相比, 生物防控具有经济、有用、安全、污染小和产生抗药性慢等长处, 将是我国红火蚁定殖区费省效宏的防控措施。红火蚁的生物防控方法包括天敌动物、病原微生物和生物杀虫剂等。

3.1 捕食性天敌

3.1.1 鸟类

性成熟的红火蚁会飞到空中进行交配, 受精后的雌蚁随风降落发育成蚁后, 形成一个新的蚁巢, 因此红火蚁的婚飞交配是其自然扩散的主要因素。只要条件适合, 红火蚁婚飞可以发生在一年中的任何时候, 但通常发生在春秋两季^[1]。鸟类是昆虫的天然捕食者, 当有翅繁殖蚁飞行到空中 90~300 m 的高度进行交配时, 会被鸟类等捕食性天敌捕食, 大大降低婚飞繁殖蚁的数量, 从而大大降低红火蚁新建巢穴的数量, 控制其自然扩散能力^[14]。可以在红火蚁发生区,

通过模拟鸟巢、投放食物、种植多样性植被等方法优化鸟类生活环境,吸引鸟类到来并繁殖。尤其是当红火蚁的发生地为公园绿地时,鸟类种类和密度的增加不但可以有效捕食婚飞的蚁后,控制公园绿地红火蚁种群的发展蔓延,其本身也是公园绿地的靓丽风景。需要注意的是,使用鸟类防治红火蚁需要充分考虑环境和生态系统的平衡,以确保不会对生态系统造成负面影响。

3.1.2 蜻蜓

蜻蜓是自然界中的天敌之一,它们的身体构造完美,飞行能力强,既能悬停,又能快速飞行,捕捉空中的蚊子、蛾子、苍蝇等害虫时其狩猎成功率高达95%^[15]。蜻蜓在全球各地均有分布,我国有记录的就有900多种,最为常见的是黄色蜻蜓,也叫作“黄蜻”。利用蜻蜓对湿地红火蚁进行防控,既能消灭湿地其他害虫,减少红火蚁食物来源,也能直接杀死婚飞生殖蚁,一定程度减缓红火蚁侵害,还能作为监测水质是否污染的“指示昆虫”。

3.1.3 捕食性甲虫

捕食性甲虫虎甲(*Cicindella punctulata*)可以捕食红火蚁巢穴外的红火蚁;在红火蚁巢内的步甲(*Erparia castanea*)和 *Martinezia dutertrei* 则以红火蚁的幼蚁为食^[16]。

3.2 寄生性天敌

3.2.1 蚤蝇

对红火蚁具备寄生效果的寄生蝇均为双翅目(Dipteria)蚤蝇科(Phoridae)昆虫。自20世纪90年代美国从南美引入蚤蝇后,共有6种蚤蝇被用于野外的红火蚁防治^[13],其中 *Pseudacteon-curvatus*, *P. tricucpis*, *P. litiralis* 和 *P. wasmanni* 4种蚤蝇的应用最为成功^[17]。蚤蝇除了对红火蚁有直接致死作用外,还能改变其觅食行为以及破坏红火蚁与群落中其他蚂蚁的竞争关系^[13]。巴西和阿根廷的研究证明至少有15种寄生蚤蝇被证实对红火蚁具有寄生作用^[17]。

3.2.2 蚁小蜂

Orasema 属昆虫隶属于小蜂科(Eucharitidae),是一种小型寄生蜂。寄生蜂幼虫孵化后可以黏附到觅食工蚁体表,从而进入红火蚁巢穴,以红火蚁的卵、幼虫和蛹为食完成个体发育^[18]。在南美洲,小蜂科有多个种寄生红火蚁,包括 *Orasema crassa* De Santis, *O. aenea* Gahan 和 *O. rapo* Walker^[18]。

3.2.3 捻翅虫

捻翅目(Strepsiptera)昆虫是一种个体微小的寄生性昆虫,主要以其他昆虫为寄主。捻翅目昆虫(*Caenocholax fenyesei*)的雄虫寄生于红火蚁体内,雌虫则寄生于蟋蟀体内^[10]。雄捻翅虫羽化后,飞向雌虫进行交配,1h后死亡。在捻翅虫雄虫离开后,被寄生的红火蚁工蚁也随即死去。*C. fenyesei* 喜欢选择中等个体大小的红火蚁工蚁寄生,有时也寄生繁殖蚁,可导致红火蚁种群中1%~2%的个体死亡^[10]。

3.2.4 寄生蚁

寄生蚁(*Solenopsis daguerrei*)是蚁科昆虫中的种类,他们没有工蚁,需要依靠红火蚁生存繁衍。寄生蚁的蚁后会主动寻找红火蚁巢穴,它们进入巢穴后会控制红火蚁蚁后,通过影响红火蚁蚁后改变巢穴内个体的性别比例,再模仿红火蚁蚁后信息素改变红火蚁工蚁的哺育对象,使它们不再照看红火蚁的卵、幼虫和蛹,转为照顾寄生蚁的幼体^[19]。

3.2.5 寄生性线虫

斯氏线虫类(*Steinernema spp.*)和异小杆线虫类(*Heterorhabditis spp.*)是对红火蚁具有寄生作用的线虫,被寄生的红火蚁种群通常会弃巢逃亡建立新的蚁巢.火蚁四线虫(*Tetradonema solenopsis*)可以感染一个巢穴中红火蚁个体的 25%^[20].

3.2.6 火蚁微孢子虫

火蚁微孢子虫(*Thelohania solenopsae*)由 Allen 和 Buren 于 1974 年发现,通过染病工蚁的活动感染其它工蚁、幼虫和蚁后.蚁后一旦感染该种微孢子虫后,其体重逐渐减轻,产卵量下降并最终死亡,染病工蚁和幼虫也逐渐死亡,巢群逐渐走向衰弱^[21].阿根廷的研究发现,火蚁微孢子虫能感染蚁巢总数的 20%^[21].

3.3 病原微生物

3.3.1 白僵菌

球孢白僵菌(*Beauveria bassiana*)是一种可以侵染多种昆虫的普通病原真菌.白僵菌微孢子黏附在红火蚁体表后萌发,通过菌丝深入红火蚁体内吸取营养,显著降低其体内蛋白质含量,最后导致红火蚁死亡,死亡后的红火蚁尸体表面布满白色菌丝^[22].白僵菌对红火蚁的侵染杀灭作用不仅与温度、湿度等环境条件有关,还与其菌液的浓度有关.在巴西田间试验结果显示,约 80% 的红火蚁因球孢白僵菌感染而死亡^[22].

3.3.2 绿僵菌

绿僵菌(*Metarhizium anisopliae*)是一种最早用于生物防治的昆虫病原真菌,其寄主分布范围广泛.据报道,该菌不但能感染红火蚁,而且能产生显著的致死作用,在实验室条件下感染绿僵菌的 15 头红火蚁蚁后 5 d 后死亡率达 100%^[9].红火蚁被少量绿僵菌侵染后在短期内可以提高对绿僵菌的免疫能力,因此在利用生物菌剂防治火蚁时需要预防发生此类现象.

3.3.3 细菌

目前利用细菌防控害虫主要是使用的细菌的肠毒性,即细菌进入肠道后分泌毒素,发挥杀灭害虫的作用.粘质沙雷菌(*Serratia marcescens* Bizio),苏云金芽孢杆菌以色列亚种 *Bacillus thuringiensis* Berliner var. *israelensis* de Barjac 和芽孢杆菌(*Bacillus sphaericus* Meyer and Neide)可用于防治红火蚁.红火蚁工蚁的咽部过滤器可以去除直径大于 0.88 μm 的颗粒物,当细菌直径较大时,无法进入红火蚁肠道,产生防控作用^[23].利用昆虫的共生菌沃尔巴克氏菌(*Wolbachia*),同样可以感染红火蚁.这些细菌在其宿主中诱导许多表型,包括细胞质不相容性、杀雄性和雌性化、孤雌生殖等^[23].

3.3.4 病毒

病毒在红火蚁的防治中有着很大的潜力.目前在红火蚁中一共发现了 15 种红火蚁病毒,其中 SINV-4 在红火蚁工蚁和幼虫中检测到,并且在工蚁中的含量最高^[24].这些病毒有显著的灭蚁活性,一旦感染,红火蚁种群会表现出活力降低、觅食行为减弱,蚁后的产卵量减少等症状.SINV-4 在红火蚁种群中的感染保留时间长达 72 d^[24].

3.4 生物农药-多杀菌素

多杀菌素是刺糖多孢菌(*Saccharopolysporaspinosus* Mertz and Yao)发酵得到的一类化合物,包含 20 多种组分,主要作用靶标为烟酸乙酰胆碱受体和 γ -氨基丁酸受体^[25].由于同时作用于多种靶标,多杀菌素表现出兼具化学农药的速效性和生物农药的环保性,获得美国“总统绿

色化学品挑战奖”。多杀菌素对红火蚁具有高胃毒低触杀毒力,能通过工蚁的取食和交哺行为进行传导.在云南热带雨林生态区,20%多杀霉素悬浮剂药后1d和10d虫口减退率均在96%以上,药后30d的虫口减退率还维持在50%以上^[26],说明多杀霉素可作为红火蚁的应急防控用药.

参考文献:

- [1] 冯东,孙阳昭,陆永跃.红火蚁防控手册[M].北京:中国农业出版社,2020.
- [2] 乔安花,瞿金龙,吕君,等.某岛礁3例红火蚁蜇伤导致过敏性休克的急救护理[J].海军医学杂志,2022,43(5):472-474.
- [3] 王玉连,杨丽英,付兴武,等.61例驻岛礁官兵红火蚁蜇伤的临床分析[J].海军医学杂志,2022,43(2):129-131.
- [4] 林坤才,谢梅珍,杨晓华,等.红火蚁蜇伤致过敏性休克23例的救治[J].中国急救复苏与灾害医学杂志,2021,16(10):1202-1203,1208.
- [5] 张润志,薛大勇.我国如何应对红火蚁入侵[J].中国科学院院刊,2005,20(4):283-287.
- [6] 宋侦东,陆永跃,许益鏊,等.红火蚁入侵草坪过程中蚂蚁类群变动趋势[J].生态学报,2010,30(5):1287-1295.
- [7] 张波,罗映鹏,雷益勤,等.农林外来有害生物红火蚁入侵的问题建构与社会管理研究[J].科学与管理,2015,35(1):69-77.
- [8] 赵德全,覃建军,庾新华.红火蚁对人类健康和经济发展的影响[J].作物研究,2012,26(5):582-583,586.
- [9] DREES B M, CALIXTO A A, NESTER P R. Integrated Pest Management Concepts for Red Imported Fire Ants *Solenopsis Invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. Insect Science, 2013, 20(4): 429-438.
- [10] BRIANO J, CALCATERRA L, VARONE L. Fire Ants (*Solenopsis* spp.) and Their Natural Enemies in Southern South America [J]. Psyche: A Journal of Entomology, 2012, 2012: 1-19.
- [11] 余玉婷,陈立,魏洪义.水浸对红火蚁工蚁死亡率的影响[J].应用昆虫学报,2013,50(5):1392-1396.
- [12] 许益鏊,陆永跃,黄俊,等.红火蚁自然种群耐寒性的研究[J].昆虫学报,2009,52(9):974-983.
- [13] CHEN J A, OI D H. Naturally Occurring Compounds/Materials as Alternatives to Synthetic Chemical Insecticides for Use in Fire Ant Management [J]. Insects, 2020, 11(11): 758.
- [14] HELMS J A 4th, GODFREY P, AMES T, et al. Are Invasive Fire Ants Kept in Check by Native Aerial Insectivores? [J]. Biology Letters, 2016, 12(5): 20160059.
- [15] 高宇,史树森.蜻蜓目昆虫资源价值[J].生物资源,2021,43(3):276-283.
- [16] WOJCIK D P, SMITTLE B J, CROMROY H L. Fire Ant Myrmecophiles: Feeding Relationships of *Martinezia dutertrei* and *Euparia castanea* (Coleoptera: Scarabaeidae) with Their Host ants, *Solenopsis* spp. (Hymenoptera: Formicidae) [J]. Insectes Sociaux, 1991, 38(3): 273-281.
- [17] FOLGARAIT P J, BRUZZONE O A, PATROCK R J W, et al. Developmental Rates and Host Specificity for *Pseudacteon* Parasitoids (Diptera: Phoridae) of Fire Ants (Hymenoptera: Formicidae) in Argentina [J]. Journal of Economic Entomology, 2002, 95(6): 1151-1158.
- [18] VARONE L, HERATY J M, CALCATERRA L A. Distribution, Abundance and Persistence of Species of *Orasema* (Hym: Eucharitidae) Parasitic on Fire Ants in South America [J]. Biological Control, 2010, 55(1): 72-78.
- [19] CALCATERRA L A, BRIANO J A, WILLIAMS D F. Field Studies of the Parasitic Ant *Solenopsis daguerrei* (Hymenoptera: Formicidae) on Fire Ants in Argentina [J]. Environmental Entomology, 1999, 28(1): 88-95.
- [20] DREES B M, MILLER R W, VINSON B S, et al. Susceptibility and Behavioral Response of Red Imported Fire Ant (Hymenoptera: Formicidae) to Selected Entomogenous Nematodes (Rhabditida: Steinernematidae & Heterorhabditidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 1992, 85(2): 365-370.

- [21] COOKT J, LOWERYM B, FREYTN, et al. Effect of *Thelohania solenopsae* (Microsporida: Thelohaniidae) on Weight and Reproductive Status of Polygynous Red Imported Fire Ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), Alates[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2003, 82(3): 201-203.
- [22] KAFLE L, WU W J, KAO S S, et al. Efficacy of *Beauveria bassiana* Against the Red Imported Fire Ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), in Taiwan [J]. Pest Management Science, 2011, 67(11): 1434-1438.
- [23] SHOEMAKER D D, AHRENS M, SHEILL L, et al. Distribution and Prevalence of Wolbachia Infections in Native Populations of the Fire Ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. Environmental Entomology, 2003, 32(6): 1329-1336.
- [24] 刘晓燕, 吕利华, 何余容. 不同温度下白僵菌 Bb04 菌株对红火蚁工蚁的致病力 [J]. 生物安全学报, 2014, 23(2): 112-116.
- [25] 徐志红, 蒋志胜. 生物杀虫剂多杀菌素的中毒症状和作用机理 [J]. 农药科学与管理, 2004, 25(2): 25-28.
- [26] 赵雪晴, 李琼芬, 王燕, 等. 几种杀虫剂对热带雨林生态区红火蚁蚁巢和工蚁的灭杀效果 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44(6): 1562-1568.

责任编辑 王新娟