环境昆虫学报 2022，44（6）：1432－1439
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 06. 12



马琳，陈浩涛，任麒麟，张蕾，江幸福. 红火蚁工蚁受侵扰的行为反应强度与蚁巢大小和侵扰强度之间的关系研究［J］. 环境昆虫学报，2022，44（6）：1432－1439.

红火蚁工蚁受侵扰的行为反应强度与蚁巢大小和侵扰强度之间的关系研究

马 琳[1]，陈浩涛[2]，任麒麟[1]，张 蕾[1*]，江幸福[1*]
（1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193；
2. 湖南省农业科学院植物保护研究所，园艺作物病虫害治理湖南省重点实验室，长沙 410125）

摘要：红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 的防御行为是其被认定为社会性昆虫的关键特征之一。红火蚁蚁巢受到侵扰时，工蚁会快速涌出搜寻侵扰物并展开攻击。然而，蚁巢受侵扰后工蚁的行为反应与蚁巢大小和侵扰强度之间的关系有待进一步明确。为此，本研究通过野外视频记录并结合室内统计分析的方法来明确不同大小的红火蚁蚁巢受侵扰后工蚁反侵扰行为的动态过程。结果表明，蚁巢大小和受侵扰强度对蚁巢受侵扰后工蚁的反应速度具有显著影响。同等侵扰强度下，与中、大型蚁巢相比，小型蚁巢的工蚁往往表现出更慢的行为反应。尤其在低侵扰强度时，小蚁巢工蚁的反应时间平均 0. 8 s，而中蚁巢和大蚁巢均仅为 0. 34 s。当侵扰强度相同时，蚁巢越大，受侵扰后召集工蚁的数量越多；当蚁巢大小相同时，侵扰强度越高，召集工蚁的数量越多。但无论是蚁巢大小还是侵扰强度的不同，红火蚁蚁巢受侵扰后，召集工蚁的数量到达峰值的时间均为 30 s 左右。研究结果为进一步了解红火蚁的防御行为，科学预防红火蚁的攻击，以及有效开展红火蚁的防治提供了重要的实验依据。

关键词：红火蚁；蚁巢大小；侵扰强度；工蚁；防御反应
中图分类号：Q968. 1；S433 **文献标识码**：A **文章编号**：1674－0858（2022）06－1432－08

Study on the relationship between the behavioral response intensity of *Solenopsis invicta* Buren workers after infestation with the size of nest and the infestation intensity

MA Lin[1], CHEN Hao-Tao[2], REN Qi-Lin[1], ZHANG Lei[1*], JIANG Xing-Fu[1*] (1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China; 2. Hunan Provincial Key Laboratory of Control for Diseases and Pests in Horticultural Crops, Institute of Plant Protection, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: The defensive behavior of *Solenopsis invicta* Buren workers is one of the key characteristics of its identification as a social insect. When the ant nest is invaded, the worker ants will quickly come out to search for the infestation and attack. However, the relationship between the behavior response of workers and the size of ant nest and the intensity of intrusion needs to be further clarified. To this end, this study used video recording and indoor statistical analysis to understand the dynamic process of anti-infestation behavior of workers after ant nest was invaded. Our results showed that the nest size and

基金项目：国家重点研发计划（2021YFD1000504）；农业农村部政府购买服务项目（15226006）
作者简介：马琳，男，博士，从事昆虫生态学、害虫综合治理和入侵生物学等研究，E－mail：1058507607@ qq. com
* 共同通讯作者 Author for correspondence：江幸福，男，博士，研究员，研究方向为昆虫生态学，E－mail：xfjiang@ ippcaas. cn；张蕾，博士，研究员，研究方向为害虫综合治理，E－mail：leizhang@ ippcaas. cn
收稿日期 Received：2022－09－11；接受日期 Accepted：2022－10－13

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

infestation intensity significantly affected the reaction rate of workers after ant nest was invaded. At the same intensity of infestation, small nest workers tended to show slower responses than medium and large nests. Especially at low infestation intensity, the average reaction time of workers in small ant nests was 0.8 s, while only 0.34 s was observed in medium and large ant nests. When infestation intensity was the same, the larger the nest, the more workers gathered after infestation. When the nest size was the same, the higher the infestation intensity, the more workers gathered after infestation. However, no matter the size of the nest or the intensity of infestation, after the ant nests were invaded, the time for the number of workers to reach the peak value was about 30 s. Our results provide an important experimental basis for further understanding the defense behavior of *S. invicta* workers and how to protect people from the attack of them.

Key words: *Solenopsis invicta*; nest size; intrusion intensity; worker ant; defensive reaction

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren (膜翅目: 蚁科) 是一种社会性害虫，也是国际重大危险性入侵害虫。自农业农村部 (原农业部) 于 2005 年公布我国发现红火蚁以来，至 2021 年，红火蚁的分布已扩大到大陆地区 12 个省/区 (雷仲仁等，2005; 陆永跃和曾玲，2015; 王磊等，2022)。红火蚁的入侵及扩散分布，对人类健康、生命安全、农业生产、经济发展和生物多样性等造成严重的影响和威胁 (Jemal and Hugh-Jones，1993; 陆永跃，2021)。

蚂蚁社会分工的多样性造就了蚂蚁在行为上的多样性，防御行为是蚂蚁被认定为社会性昆虫的关键特征之一 (Abbot，2022)。与膜翅目其他种类蚂蚁相比，红火蚁适应性极强，且具有很强的种间竞争和防御能力。红火蚁入侵会排挤本地蚁种 (高燕等，2011; Cumberland and Kirkman，2012)，捕食土栖性动物 (Allen *et al.*，1994)，且表现出强攻击性的反侵扰行为 (Allen *et al.*，2004)，特别是在蚁巢受到侵扰时，大量工蚁蜂拥而出，快速搜寻侵扰源，一旦发现便会用尾针攻击入侵者并注入蚁酸。人若遭到红火蚁叮蜇，皮肤会红肿起疱化脓并伴随有强烈的灼痛感，若遭受大量工蚁围攻，敏感体质的人可能晕厥、休克甚至死亡 (王玉连等，2022)。国内已有多起红火蚁叮蜇致人伤亡的报道 (赵静妮和许益镌，2015; 陆永跃，2021)。

国内外对红火蚁的攻击行为开展了一些研究，主要包括蚁群的领域行为 (Adams and Plowes，2019)、种内和种间竞争行为 (Kabashima *et al.*，2007; Zhou *et al.*，2014; Lai *et al.*，2015; 李梓悦和杨鑫，2020)、觅食行为 (Moloney and Vanderwoude，2003; 王磊等，2017)、蚁后与工蚁间互作 (Vander Meer and Alonso，2002) 等方面。通过研究红火蚁蚁巢受侵扰后工蚁召集的过程，许益镌 (2007) 发现蚁巢受侵扰后巢内的工蚁蜂拥而出，参与防卫的工蚁数量迅速达到高峰，之后又缓慢退回巢内。对冬季红火蚁蚁群结构开展调查发现，蚁群总数随蚁巢体积增大表现出增多趋势 (李宁东等，2007a)。蚁丘大小与诱饵诱集到的工蚁数量密切相关，随着红火蚁蚁丘增大，诱集工蚁总数呈增加趋势，且增幅由快变慢，后趋于稳定 (黄俊等，2009)。但至今为止，蚁巢受侵扰后工蚁的行为反应是否与蚁巢大小和侵扰强度等有关，这些与红火蚁防卫过程密切相关问题仍有待进一步明确。为了更好地阐明受侵扰后工蚁行为反应特征，本文对蚁巢受侵扰后的工蚁行为反应及其相关影响因子 (蚁巢大小和侵扰强度) 进行了研究，以丰富红火蚁的基础生物学知识，对人们更好的预防红火蚁危害、开展科学有效的防治具有重要的指导意义。

1　材料与方法

1.1　试验地点及供试蚁巢选择

试验地点位于广东珠海市国家南方软件园绿化带人工林内。试验区面积约 2 000 m^2。选择蚁丘底部呈近圆形、丘面较平缓的不同大小的蚁巢。参照 Porter (1992)，以红火蚁地上蚁丘的底部直径作为区分蚁巢大小的依据，分别定义直径 < 15 cm、15 ~ 25 cm、> 25 cm 为小、中、大蚁巢，小、中、大蚁巢各选择 10 巢用于试验，供试小、中、大蚁巢尺寸见表 1，试验蚁巢间距≥10 m。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 供试小、中、大蚁巢尺寸

Table 1 Size of small, medium and large ant nests

蚁巢大小 Size of the nest	小蚁巢 Small nests (n = 10)	中蚁巢 Medium nests (n = 10)	大蚁巢 Large nests (n = 10)
平均值 ± 标准差 (cm) Mean ± SD	10.04 ± 2.58	23.05 ± 5.48	35.44 ± 5.64

1.2 不同侵扰强度下工蚁反应强度测定

红火蚁蚁巢受到侵扰时，会有大量工蚁快速涌出蚁巢搜寻侵扰物，整个过程快而有序。常规观测方法难以将整个过程完整记录，因此本研究中采用了数码摄像机现场视频记录、室内分析的方法来了解这一动态过程。在测试蚁巢蚁丘中心点正上方距离地面 2 m 高处固定数码摄像机 (Nikon Coolpix P1000)。将直径 25.4 mm 的实心钢珠 (FB) 分别从距离地面 0.5、1.0 和 1.5 m 3 个高度自由落体砸向蚁丘中部，使蚁巢受到不同强度的撞击，视为对蚁巢的低、中、高 3 个级别的侵扰强度。所有蚁巢每天只测定一个侵扰强度，依次测定低中高 3 个侵扰强度，连续 3 d 完成测定，每天试验均在 13:00 – 16:00 进行，试验时地面温度为 22 ~ 28℃，空气湿度 45% ~ 60%。摄像机于钢珠下落前 5 s 开始视频拍摄，钢珠下落 8 min 后关闭摄像机 (视频记录装置见图 1)。

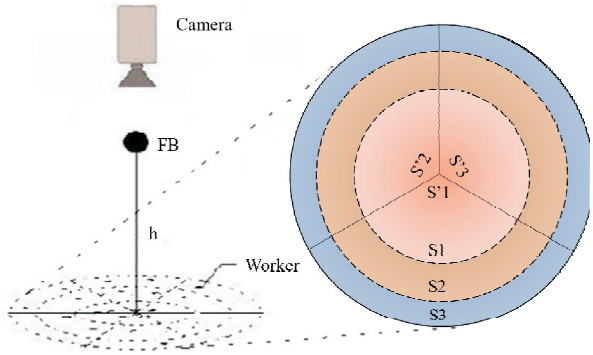


图 1 实验设计示意图

Fig. 1 Schematic of the testing

注：FB 代表钢珠；h 为铁珠自由落体高度。Note: FB meant the friction bail; h meant the height.

1.2.1 工蚁反应时间测定

采集不同大小蚁巢受不同强度侵扰的视频后，使用 Kmplayer 播放器播放进行观察。将钢珠击中各蚁丘的时间设置为起始时间 (0 s)，观察记录受侵扰后，第一头工蚁涌出蚁巢时间，即工蚁受侵扰后的反应时间 (速度)。

1.2.2 工蚁召集规律

从视频起始时间 (0 s) 开始，每隔 10 s 记录一次画面中蚁丘表面工蚁的数量，连续记录 8 次 (80 s)；并记算召集工蚁总量达最大时所花费的时间。

视频画面中，蚁丘俯视图映射在视频中近似为一个圆形。为方便计数，将视频画面中的蚁丘表面积等分。设定蚁丘半径为 R，则以蚁丘中心为圆心，分别以半径 0.58 R 和 0.82 R 绘制同心圆，可将蚁丘表面积均分为如图 1 中不同颜色所示由里向外的三等分：S1、S2 和 S3。另外，经过蚁丘中心互成 120°夹角的 3 条直线将蚁丘面积三等分：S'1、S'2 和 S'3。蚁丘在视频中的俯视图被 3 个同心圆和 3 条直线 9 等分 (图 1)。

1.3 数据分析

采用 SPSS 25 软件对数据进行统计分析，用一般线性模型分析蚁巢大小和侵扰强度对工蚁反应时间的影响；用 Duncan 新复极差法对不同蚁巢大小、不同侵扰强度下，工蚁受侵扰后的反应时间和蚁丘上工蚁数量进行差异显著性分析。用 DPS v19 统计软件拟合工蚁数量变化趋势与时间的关系。

2 结果与分析

2.1 蚁巢大小和侵扰强度对工蚁受侵扰后反应时间的影响

通过一般线性模型 (GLM) 分析表明，蚁巢大小 ($P < 0.001$)、侵扰强度 ($P < 0.001$) 及两者相互作用 ($P < 0.001$) 都显著影响红火蚁工蚁受侵扰后的反应时间 (表 2)。

蚁巢大小相同的情况下，工蚁受不同侵扰强度的反应时间随着蚁巢大小的不同，差异模式不同 (表 3；Duncan 新复极差法)。小蚁巢受到低侵扰时，工蚁的反应时间最长为 0.80 s，受到中侵扰时的反应时间最短为 0.36 s ($F_{(2,29)} = 877.71$，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　蚁巢大小和侵扰强度对红火蚁工蚁受侵扰后反应时间的影响

Table 2　Effects of nest size and infestation intensity on response rate of workers

因素 Source (n = 30)	df	MS	F	P
蚁巢大小 Size of the nest	2	0. 484	1 034. 244	<. 001
侵扰强度 Intensity of intrusion	2	0. 161	344. 989	<. 001
蚁巢大小 × 侵扰强度 Size of the nest × Intensity of intrusion	4	0. 169	360. 377	<. 001
误差 Error	81	0. 000		
相关系数的平方 R^2	0. 981			

$P < 0.01$); 中蚁巢受到不同程度侵扰时, 工蚁均能较快的做出反应, 且不同侵扰程度下的反应时间不存在差异 ($F_{(2,29)} = 3.02$, $P = 0.07$); 大蚁巢受到低、中侵扰时工蚁的反应时间没有差异, 受到高侵扰时工蚁的反应时间最快, 平均用时仅为 0. 31 s ($F_{(2,29)} = 16.58$, $P < 0.01$)。

相同程度的侵扰强度下, 不同大小蚁巢的工蚁受侵扰后的反应时间, 差异模式也不一样 (表 3; Duncan 新复极差法)。在低侵扰强度下, 中蚁巢和大蚁巢工蚁的反应时间较一致, 而小蚁巢工蚁的反应时间显著滞后 ($F_{(2,29)} = 981.51$, $P < 0.01$); 在中侵扰强度下, 大中小蚁巢工蚁的反应时间没有差异 ($F_{(2,29)} = 2.04$, $P = 0.15$); 在高侵扰强度下, 大蚁巢反应时间最快, 中蚁巢次之, 小蚁巢反应时间醉眠, 平均需要 0. 51 s ($F_{(2,29)} = 594.90$, $P < 0.01$)。

表 3　不同大小蚁巢红火蚁工蚁对不同强度侵扰的反应时间

Table 3　Reaction time of workers from different size nest to different intensity of intrusion

侵扰强度 (Hight) Intensity of intrusion	反应时间 (s) Reaction time		
	小蚁巢 Small nest (n = 10)	中蚁巢 Middle nest (n = 10)	大蚁巢 Big nest (n = 10)
低侵扰 (0. 5 m) Low intensity	0. 80 ± 0. 01 Aa	0. 34 ± 0. 01 Ba	0. 34 ± 0. 01 Ba
中侵扰 (1. 0 m) Middle intensity	0. 36 ± 0. 01 Ac	0. 34 ± 0. 00 Aa	0. 36 ± 0. 01 Aa
高侵扰 (1. 5 m) High intensity	0. 51 ± 0. 00 Ab	0. 32 ± 0. 01 Ba	0. 31 ± 0. 00 Cb

注: 表中反应时间均为平均值 ± 标准误; 小写字母代表蚁巢大小相同时, 工蚁对不同侵扰强度的反应时间差异; 大写字母代表侵扰强度一致时, 不同大小蚁巢的工蚁受侵扰后的反应时间差异 (Duncan 新复极差法)。Note: The reaction time in the table was means ± SE; The lowercase letters represented the difference in response time of workers to different intrusion intensities when the nest size was same; The capital letters represented the difference in response time of workers with different sizes of ant nests after being disturbed when the intensity of intrusion was consistent (Duncan's new multiple range test) .

2. 2　不同大小蚁巢受侵扰后工蚁的召集规律

在中等侵扰强度下, 不同大小蚁巢工蚁的反应时间没有差异。为明确不同大小蚁巢受侵扰后工蚁的召集规律, 本研究进一步分析了蚁巢在受到中等强度侵扰后, 不同大小蚁巢工蚁随时间的反应动态 (图 2; Duncan 新复极差法)。结果表明, 在中等侵扰强度下, 不同大小蚁巢工蚁反应的动态规律相似, 即在蚁巢受到侵扰后 30 s 左右蚁丘上工蚁聚集的数量达到最大值, 之后趋于稳定并随着时间逐渐减少 (小蚁巢: $F_{(7,79)} = 48.67$, $P < 0.01$; 中蚁巢: $F_{(7,79)} = 65.69$, $P < 0.01$; 大蚁巢: $F_{(7,79)} = 26.18$, $P < 0.01$)。同时, 蚁巢大小对受侵扰后蚁丘上工蚁数量具有显著影响, 蚁丘上工蚁数量随蚁巢由小到大而显著增加, 蚁巢越大, 蚁丘上工蚁数量越多 (10 s: $F_{(2,29)} = 114.32$, $P < 0.01$; 20 s: $F_{(2,29)} = 51.87$, $P < 0.01$; 30 s: $F_{(2,29)} = 93.63$, $P < 0.01$; 40 s: $F_{(2,29)} = 111.57$, $P < 0.01$; 50 s: $F_{(2,29)} = 256.18$, $P < 0.01$; 60 s: $F_{(2,29)} = 153.04$, $P < 0.01$; 70 s: $F_{(2,29)} = 135.16$, $P < 0.01$; 80 s: $F_{(2,29)} = 288.75$, $P < 0.01$)。

拟合工蚁数量变化趋势与时间的关系建立了 3 个非线性方程, 结果表明, 指数模型可以较好地描述不同大小蚁巢受侵扰后工蚁的召集规律 (相关系数: 小蚁巢 = 0. 9883; 中蚁巢 = 0. 9778; 大蚁巢 = 0. 9524) (表 4)。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

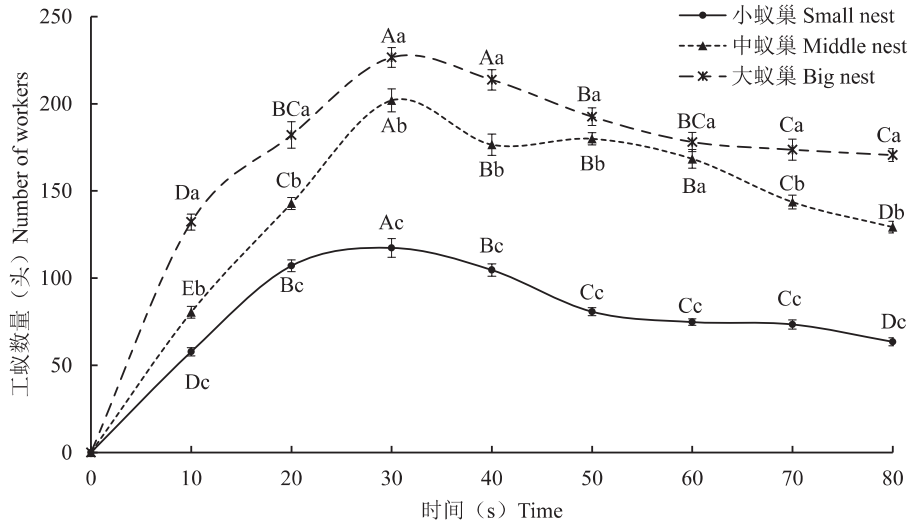


图 2 不同大小蚁巢在中侵扰强度下工蚁的时间 – 数量动态

Fig. 2 Time-number dynamics of workers in different size nests under medium infestation intensity

注：大写字母表示相同大小蚁巢受中等强度侵扰后，不同观测时间下，蚁丘上工蚁的数量差异；小写字母表示同一观测时间下，不同大小蚁巢受中等强度侵扰后蚁丘上工蚁的数量差异（Duncan 新复极差法）。Note: Capital letters indicated the difference in the number of worker ants on the anthill under different observation time after the nests of the same size were invaded with moderate intensity; Lowercase letters indicated the difference in the number of worker ants on the anthill at the same observation time after the nests of different sizes were invaded with moderate intensity (Duncan's new multiple range test).

表 4 中侵扰强度下不同大小蚁巢蚁丘表面工蚁时间 – 数量动态模型

Table 4 Model describing the dynamic of outing workers under different size nests

蚁巢大小 Size of the nest	模型 Model	相关系数 Correlative index	显著水平 *P*-value
小蚁巢 Smallnest	$N = 207.3237 \times EXP(-0.0123651T) - 207.3237 \times EXP(-0.0795355T)$	0.9883	0.01
中蚁巢 Middlenest	$N = 859.1074 \times EXP(-0.0186331T) - 859.1074 \times EXP(-0.0763546T)$	0.9778	0.01
大蚁巢 Big nest	$N = 5981.7513 \times EXP(-0.0276213\ T) - 5981.7513 \times EXP(-0.0415252\ T)$	0.9524	0.01

注：表中 N 表示丘上工蚁数量，T 表示受侵扰后时间。Note: N indicated the number of workers, T indicated time after the intrusion.

1.6 不同侵扰强度下工蚁的召集规律

中蚁巢工蚁对不同侵扰强度的反应时间没有差异。为明确不同侵扰强度下工蚁的召集规律，本研究进一步分析了中蚁巢在受到不同强度侵扰后，工蚁随时间的反应动态（图 3；Duncan 新复极差法）。结果表明，在不同侵扰强度下，中等蚁巢工蚁的召集动态规律相似，即在蚁巢受到侵扰后 30 s 左右蚁丘上工蚁聚集的数量达到最大值，之后趋于稳定并随着时间逐渐减少（低侵扰（0.5 m）：$F_{(7,79)} = 37.50$，$P < 0.01$；中侵扰（1.0 m）：$F_{(7,79)} = 47.19$，$P < 0.01$；高侵扰（1.5 m）：$F_{(7,79)} = 96.84$，$P < 0.01$）。同时，蚁巢受侵扰后，蚁丘上工蚁的总量受侵扰的强度影响显著（$P < 0.05$），侵扰越强，丘上工蚁数量越多（10 s：$F_{(2,29)} = 57.39$，$P < 0.01$；20 s：$F_{(2,29)} = 30.69$，$P < 0.01$；30 s：$F_{(2,29)} = 105.10$，$P < 0.01$；40 s：$F_{(2,29)} = 276.51$，$P < 0.01$；50 s：$F_{(2,29)} = 156.94$，$P < 0.01$；60 s：$F_{(2,29)} = 136.47$，$P < 0.01$；70 s：$F_{(2,29)} = 117.64$，$P < 0.01$；80 s：$F_{(2,29)} = 96.17$，$P < 0.01$）。

拟合工蚁数量变化趋势与时间的关系建立了 3 个非线性方程，结果表明，指数模型可以较好地描述不同侵扰强度下，中等蚁巢工蚁的召集规律（相关系数：低侵扰 = 0.9917；中侵扰 = 0.9809；高侵扰 = 0.9677）（表 5）。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

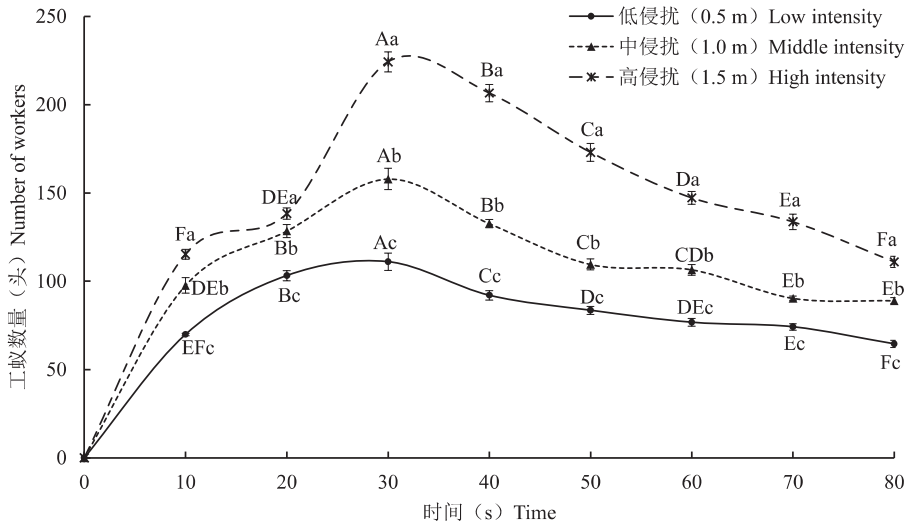


图 3　不同侵扰强度下中蚁巢蚁丘上工蚁的时间 – 数量动态

Fig. 3　Time-number dynamics of workers on the anthill of medium nests under different infestation intensities

注: 大写字母表示不同观测时间下，中型蚁巢受相同强度侵扰后蚁丘上工蚁的数量差异；小写字母表示同一观测时间下，中型蚁巢受不同强度侵扰后蚁丘上工蚁的数量差异（Duncan 新复极差法）。Note: Capital letters represented the difference in the number of workers on the anthill after the medium ant nest was affected by the same intensity under different observation time; Lowercase letters represented the difference in the number of worker ants on the anthill after the medium ant nest was invaded by different intensity at the same observation time (Duncan's new multiple range test).

表 5　不同侵扰强度下中蚁巢蚁丘上工蚁的时间 – 数量动态模型

Table 5　Time-number dynamics model of workers on the anthill of medium nests under different infestation intensities

侵扰强度(Heigh) Intensity of intrusion	模型 Model	相关系数 Correlative index	显著水平 *P*-value
低侵扰(0. 5 m) Low intensity	$N = 185.5444 \times EXP(-0.013911T) - 186.6003 \times EXP(-0.077588T)$	0. 9917	0. 01
中侵扰(1. 0 m) Middle intensity	$N = 298.0487 \times EXP(-0.016382T) - 298.9547 \times EXP(-0.065361T)$	0. 9809	0. 01
高侵扰(1. 5 m) High intensity	$N = 5756.8068 \times EXP(-0.029616T) - 5763.8241 \times EXP(-0.032536T)$	0. 9677	0. 01

注: 表中 *N* 表示丘上工蚁数量，*T* 表示受侵扰后时间。Note: *N* indicated the number of workers, *T* indicated time after the intrusion.

3　结论与讨论

蚂蚁的社会性关键特征就在于其表现出一种井然有序的分工合作行为（Ulrich *et al.*，2018）。红火蚁与一般蚂蚁相比，显著特征之一就是表现出很强的反侵扰行为（Allen *et al.*，2004）。红火蚁蚁巢如遭外来侵扰，会有大量工蚁快速涌出蚁巢搜寻侵扰物并展开攻击行为，整个过程快而有序（Drees *et al.*，2012）。为此，本研究通过现场视频记录，并结合室内统计分析的方法来了解红火蚁蚁巢受侵扰后工蚁的反侵扰行为动态过程。

在社会性昆虫中发现，其种群建立之初的第一批工作者（如工蚁、工蜂）的体型往往最小，且工作者的体型大小会随着种群虫口数量和种群年龄的增大而增加，这是社会型昆虫中一种常见的多态性（Gary，1971）。红火蚁种群虫口数量及蚁巢大小会随着蚁巢种群生长和发育而逐渐变大（Markin *et al.*，1973）。Wood 和 Tschinkel（1981）发现，在实验条件下由蚁后建立的最初种群只有

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

个体极小的工蚁，随着蚁巢大小的扩大，至 7 个月时，工蚁的头宽范围也逐渐扩至 0.5 ~ 1.5 mm 范围，相较于成熟偏大蚁巢，新建蚁巢以小体型工蚁为主。本文研究结果表明，蚁巢大小和侵扰强度都显著影响红火蚁蚁巢受侵扰后工蚁的反应速度。在同等侵扰强度下，小蚁巢工蚁往往表现出比中、大蚁巢更慢的行为反应。这可能是因为小蚁巢工蚁体型小，数量少，群体防御能力较弱，整体反侵扰能力不强等（Haight，2010）。Cassill *et al.*（2008）的研究表明，羽化初期的工蚁在遇到危险时，往往会假死，甚至选择逃逸。较大的工蚁在执行与觅食和巢穴防御相关的特定行为方面的表现往往优于体型较小的工蚁（Nowbahari *et al.*，1999；Braendle *et al.*，2003）。在自然状况下，蚁巢周边也常发生轻微扰动，如在非紧急情况下，小蚁巢也做出像中、大巢群那般激烈的出巢反应，则会引起工蚁的损失和资源的浪费，不利于巢群的发展。而中、大蚁巢的工蚁数量庞大，常有几万到几十万个体（Porter and Tschinkel，1985；李宁东等，2007b；林妙凤等，2016），在受到侵扰时，快速反应，保全整个巢群，即使损失一定数量工蚁，仍有利于巢群发展。不同大小蚁巢工蚁的反应差异，可能是红火蚁巢群发展过程中的一种适应性策略，从另一个角度说明了红火蚁作为社会性昆虫，具有较强的适应能力。

就红火蚁蚁巢受侵扰后蚁丘上工蚁的召集数量动态而言，在侵扰强度相同时，蚁巢越大，侵扰后工蚁召集的数量越多；在蚁巢大小相同时，侵扰强度越高，侵扰后工蚁召集的数量越多。虽然蚁巢大小和侵扰强度的不同会显著影响红火蚁蚁巢受侵扰后工蚁的反应速度和召集数量，但无论是蚁巢大小还是侵扰强度的不同，红火蚁蚁巢受侵扰后工蚁召集数量到达峰值的时间均为 30 s 左右。许益镌（2007）的研究结果显示，当蚁巢受到干扰后，巢外工蚁数量到达峰值的时间在 60 ~ 90 s，相较于本研究结果，工蚁召集高峰明显推迟。红火蚁的行为活动受环境因素，如温、湿度等方面的影响显著（李军等，2014；陈芳等，2018），这可能是造成两者结果差异的关键因素。工蚁反侵扰行为的时间动态节律值得进一步深入研究。本文的研究结果将为进一步了解红火蚁的攻击行为，以及如何防护使人们免于红火蚁的攻击提供了重要的实验依据。

参考文献（References）

Abbot P. Defense in social insects: Diversity, division of labor, and evolution［J］. *Annual Review of Entomology*, 2022, 67: 407 – 436.

Adams ES, Plowes NJ. Self – organizing conflicts: Group assessment and the spatio – temporal dynamics of ant territory battles［J］. *Behavioural Processes*, 2019, 162: 119 – 129.

Allen CR, Demarais S, Lutz RS. Red imported fire ant impact on wildlife: An overview［J］. *The Texas Journal of Science*, 1994, 46 (1): 51 – 59.

Allen CR, Epperson DM, Garmestani AS. Red imported fire ant impacts on wildlife: A decade of research［J］. *The American Midland Naturalist*, 2004, 152 (1): 88 – 103.

Braendle C, Hockley N, Brevig T, *et al.* Size – correlated division of labour and spatial distribution of workers in the driver ant, *Dorylus molestus*［J］. *Naturwissenschaftrn*, 2003, 90: 277 – 281.

Cassill DL, Vo K, Becher B. Young fire ant workers feign death and survive aggressive neighbors［J］. *Naturwissenschaften*, 2008, 95: 617 – 624.

Chen F, Guan Y, Cui C, *et al.* Effects of different temperatures on the migration of *Solenopsis invicta* workers［J］. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46 (7): 78 – 79, 91.［陈芳，管云，崔灿，等. 不同温度对红火蚁工蚁迁移的影响［J］. 安徽农业科学，2018，46 (7): 78 – 79，91］

Cumberland MS, Kirkman LK. The effects of disturbance on the red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) and the native ant community［J］. *Forest Ecology and Management*, 2012, 279 (1): 27 – 33.

Drees BM, Calixto AA, Nester PR. Integrated pest management concepts for red imported fire ants *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae)［J］. *Insect Science*, 2013, 20 (4): 429 – 438.

Gao Y, Lü 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］

Gary B. A morphometric study of the ant species, *Myrmecia dispar* (Clark) (Hymenoptera: Formicidae)［J］. *Insectes Sociaux*, 1971, 18 (2): 95 – 109.

Haight K. Worker size and nest defense in *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae)［J］. *Annals of the Entomological Society of America*, 2010, 103 (4): 678 – 682.

Huang J, Lu YY, Xu YJ, *et al.* Relationships between mound size and captured ergate amount of *Solenopsis invicta*［J］. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 (8): 1992 – 1997.［黄俊，陆永跃，许益镌，等. 红火蚁蚁丘大小与诱集工蚁数量的关系［J］. 应用生态学报，2009，20 (8): 1992 – 1997］

Jemal A, Hugh – Jones M. A review of the red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) and its impacts on plant, animal, and human health［J］. *Preventive Veterinary Medicine*, 1993, 17 (1 – 2): 19 – 32.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Kabashima JN, Greenberg L, Rust MK, *et al.* Aggressive interactions between *Solenopsis invicta* and *Linepithema humile* (Hymenoptera: Formicidae) under laboratory conditions [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2007, 100 (1): 148 – 154.

Lai LC, Hua KH, Wu WJ. Intraspecific and interspecific aggressive interactions between two species of fire ants, *Solenopsis geminata* and *S. invicta* (Hymenoptera: Formicidae), in Taiwan [J]. *Journal of Asia – Pacific Entomology*, 2015, 18 (1): 93 – 98.

Lei ZR, Luo LZ, Zheng YQ, *et al.* Investigation on *Solenopsis invicta*: A dangerous alien invasive organism [J]. *Plant Protection*, 2005, 31 (3): 64 – 66. [雷仲仁, 罗礼智, 郑永权, 等. 对危险性外来入侵生物红火蚁的考察 [J]. 植物保护, 2005, 31 (3): 64 – 66]

Li J, Yang ZQ, Lin MF, *et al.* The effect of ground temperature and relative humidity on the dynamic changes of the quantity of worker ants from the ground surface of ant nest [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (3): 465 – 468. [李军, 杨召琼, 林妙凤, 等. 地面温湿度对红火蚁蚁巢表层内工蚁数量的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (3): 465 – 468]

Li ND, Lu YY, Zeng L, *et al.* Colony structure of *Solenopsis invicta* in winter in south China [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2007a, 28 (4): 16 – 22. [李宁东, 陆永跃, 曾玲, 等. 冬季红火蚁蚁群结构特点 [J]. 华南农业大学学报, 2007a, 28 (4): 16 – 22]

Li ND, Lu YY, Zeng L, *et al.* Study on the Relationship Between Colony Structure, Abundance and Nest Size of Red Fire Ants in Spring [C]. Fujian: Biological Invasion and Ecological Security——Abstracts of the First National Symposium on Biological Invasion, 2007b: 83. [李宁东, 陆永跃, 曾玲, 等. 春季红火蚁蚁群结构、数量和蚁巢大小间关系研究 [C]. 福建: 生物入侵与生态安全—— “第一届全国生物入侵学术研讨会”论文摘要集, 2007b: 83]

Li ZY, Yang X. Competitive study between *Solenopsis invicta* and *Polyrhachis dives* [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2020, 40 (3): 76 – 81. [李梓悦, 杨鑫. 红火蚁与双齿多刺蚁竞争性研究 [J]. 热带农业科学, 2020, 40 (3): 76 – 81]

Lin MF, Guo Q, Han SC, *et al.* Correlation between the numbers of different *Solenopsis invicta* instars on nest surface layer and ant mound size [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35 (2): 453 – 457. [林妙凤, 郭强, 韩诗畴, 等. 红火蚁蚁巢表层各虫态数量与蚁丘大小的关系 [J]. 生态学杂志, 2016, 35 (2): 453 – 457]

Lu YY, Zeng L. Ten 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]

Lu YY. Beware of “deadly” red imported fire ants [J]. *Science News*, 2021, 23 (2): 36 – 38. [陆永跃. 警惕“致命”红火蚁 [J]. 科学新闻, 2021, 23 (2): 36 – 38]

Markin GP, Dillier JH, Collins HL. Growth and development of colonies of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1973, 66 (4): 803 – 808.

Moloney SD, Vanderwoude C. Potential ecological impacts of red imported fire ants in eastern Australia [J]. *The Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 2003, 20 (3): 131 – 142.

Nowbahari E, Fénéron R, Malherbe MC. Effect of body size on aggression in the ant, *Cataglyphis niger* (Hymenoptera; Formicidae) [J]. *Aggressive Behavior*, 1999, 25 (5): 369 – 379.

Porter SD. Frequency and distribution of polygyne fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in Florida [J]. *The Florida Entomologist*, 1992, 75 (2): 248 – 257.

Ulrich Y, Saragosti J, Tokita CK, *et al.* Fitness benefits and emergent division of labour at the onset of group living [J]. *Nature*, 2018, 560: 635 – 638.

Vander Meer RK, Alonso LE. Queen primer pheromone affects conspecific fire ant (*Solenopsis invicta*) aggression [J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2002, 51: 122 – 130.

Wang L, Chen KW, Feng XD, *et al.* Long – term predication of red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) expansion in mainland China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44 (2): 339 – 344. [王磊, 陈科伟, 冯晓东, 等. 我国大陆红火蚁入侵扩张趋势长期预测 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (2): 339 – 344]

Wang L, Wang Z, Zeng L, *et al.* Negative effects of red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) invasion on arthropod community in the banana plantations [J]. *Journal of Environment Entomology*, 2017, 39 (4): 835 – 847. [王磊, 王正, 曾玲, 等. 红火蚁入侵对香蕉园节肢动物群落的负面效应研究 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (4): 835 – 847]

Wang YL, Yang LY, Fu XW, *et al.* Clinical analysis of sting injury by red fire ants in 61 reef garrison officers and men [J]. *Journal of Navy Medicine*, 2022, 43 (2): 129 – 131. [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]

Wood LA, Tschinkel WR. Quantification and modification of worker size variation in the fire ant *Solenopsis invicta* [J]. *Insectes Sociaux*, 1981, 28: 117 – 128.

Xu YJ. Basic Study on Invasion Ecology of Red Imported Fire Ants [D]. Guangzhou: South China Agricultural University for PhD Degree, 2007. [许益镌. 红火蚁入侵生态学基础研究 [D]. 广州: 华南农业大学博士学位论文, 2007]

Zhao JN, Xu YJ. Survey of the prevalence of fire ant sting accidents based on internet reports [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (6): 1409 – 1412. [赵静妮, 许益镌. 基于互联网的红火蚁在中国伤人事件调查 [J]. 应用昆虫学报, 2015, 52 (6): 1409 – 1412]

Zhou A, Liang G, Lu YY, *et al.* Interspecific competition between the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren and ghost ant, *Tapinoma melanocephalum* Fabricius for honeydew resources produced by an invasive mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Arthropod – Plant Interactions*, 2014, 8: 469 – 474.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net