



易梅, 梁钰铃, 邓杰夫, 林博健, 齐易香, 陆永跃. 红火蚁工蚁体积、重量与数量之间关系研究 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (6): 1440–1451.

红火蚁工蚁体积、重量与数量之间关系研究

易梅, 梁钰铃, 邓杰夫, 林博健, 齐易香, 陆永跃*

(华南农业大学红火蚁研究中心, 广州 510642)

摘要: 红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是国际上一种重要危险性入侵害虫, 已经入侵我国多年, 并对我国社会多个方面造成危害和威胁。调查和明确红火蚁的分布、发生和危害是做好科学防控的基础和前提。本研究明确了大 (体长: 5~6 mm)、中 (3~4 mm)、小 (2~2.5 mm) 3 类不同体型工蚁在死亡和活体状态下同一体积时的重量和数量差异性及相关性。在此基础上建立了拟合 2 种状态下 3 类体型工蚁的体积、重量和数量间关系的系列幂模型, 其中大、中、小体型活工蚁的体积与重量之间关系模型分别为 $Y = 0.2066X^{1.09265}$ 、 $Y = 0.2179X^{1.2362}$ 、 $Y = 0.1725X^{1.0897}$, 死亡工蚁的体积与重量之间关系模型分别为 $Y = 0.2003X^{1.2226}$ 、 $Y = 0.0876X^{1.3038}$ 、 $Y = 0.1491X^{1.2041}$; 大、中、小体型活工蚁的体积与数量之间关系模型分别为 $Y = 41.7252X^{1.5681}$ 、 $Y = 27.9203X^{1.7075}$ 、 $Y = 181.7866X^{1.0187}$, 死亡工蚁的体积与数量之间关系模型分别为 $Y = 115.8781X^{1.1245}$ 、 $Y = 460.1223X^{1.0039}$ 、 $Y = 433.0574X^{0.9595}$; 大、中、小体型活工蚁和死亡工蚁的重量与数量之间关系模型分别为 $Y = 390.6213X^{1.4699}$ 、 $Y = 219.6564X^{1.4133}$ 、 $Y = 942.2587X^{0.9267}$ 、 $Y = 524.3954X^{0.8803}$ 、 $Y = 3005.7651X^{0.7571}$ 、 $Y = 1984.2138X^{0.7818}$; 并依据以上各个模型, 计算、制作了 2 种状态 3 类体型时依据体积估测重量和数量, 依据重量估测数量的分级表。

关键词: 红火蚁; 工蚁; 重量; 数量; 模型

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 06-1440-12

Study on the relationship between the volume, weight and number of red imported fire ant workers

YI Mei, LIANG Yu-Ling, DENG Jie-Fu, LIN Bo-Jian, Qi Yi-Xiang, LU Yong-Yue* (Red Imported Fire Ant Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren is a serious dangerous pest in the world, which has invaded our country and caused harm and threat to many aspects of our society. Investigation and clarification of the distribution, occurrence and harm of fire ants are the basis and premise for scientific prevention and control. In this paper, based on the study of the difference and correlation of weight and quantity of workers with different body types (large worker: 5~6 mm; medium: 3~4 mm; small: 2~2.5 mm) of fire ant in the same volume under dead and living conditions, a series of power models fitting the relationship between the volume, weight and quantity of the workers with three types of body types under two conditions were established. In which, the relationship models between the volume and weight of the three types (from large worker to small worker) of living workers were $Y = 0.2066X^{1.09265}$, $Y =$

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD1000500, 2021YFC2600404); 广东省农业产业技术体系创新团队项目 (2022KJ134); 广东省乡村振兴战略专项资金省级项目 (粤财农 [2022] 92 号); 深圳市农业科技促进中心项目 (20220900044zbjbc)

作者简介: 易梅, 女, 硕士研究生, 主要从事昆虫生态学和害虫防治研究, E-mail: 983590104@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 陆永跃, 博士, 教授, 主要从事昆虫生态学、害虫治理与入侵生物学研究, E-mail: luyongyue@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-09-16; 接受日期 Accepted: 2022-10-22

0.2179 $X^{1.2362}$ and $Y = 0.1725X^{1.0897}$, while $Y = 0.2003X^{1.2226}$, $Y = 0.0876X^{1.3038}$ and $Y = 0.1491X^{1.2041}$ were for dead workers; The models between the volume and quantity of the three types of living workers and dead workers were $Y = 41.7252X^{1.5681}$, $Y = 27.9203X^{1.7075}$, $Y = 181.7866X^{1.0187}$, and $Y = 115.8781X^{1.1245}$, $Y = 460.1223X^{1.0039}$, $Y = 433.0574X^{0.9595}$. The models between weight and quantity of the three types of living and dead workers were as follows: $Y = 390.6213X^{1.4699}$, $Y = 219.6564X^{1.4133}$, $Y = 942.2587X^{0.9267}$, $Y = 524.3954X^{0.8803}$, $Y = 3005.7651X^{0.7571}$ and $Y = 1984.2138X^{0.7818}$, respectively. According to the above models established, three grading tables for estimating weight and quantity based on volume, and quantity based on weight in living and dead states and 3 types of body sizes are calculated and presented.

Key words: Red imported fire ant; workers; weight; number; model

调查红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 入侵发生情况是掌握其分布区域、发生危害程度、制定管理策略、采取预防与控制措施、评估防治效果等一系列工作的基础和前提 (陆永跃等, 2011)。美国自发现红火蚁入侵以来, 对如何开展该蚁发生分布的监测调查开展了一系列研究, 提出了多种方法 (Lofgren *et al.*, 1975; Pinson *et al.*, 1980; Lofgren, 1985; Vinson, 1997; Stringer *et al.*, 2011; Drees *et al.*, 2013)。红火蚁觅食工蚁数量可以使用食物诱饵来进行监测调查, 例如肉制品 (热狗片、金枪鱼、加工肉等) 和油炸蔬菜片 (玉米或土豆片) (Drees, 1994)。我国红火蚁研究学者许益鏊等 (2007) 评价了火腿肠、花生油和蜂蜜等食物对红火蚁工蚁的诱集效果, 结果表明花生油诱集数量最多, 平均为 176.3 头; 火腿肠次之, 为 90.4 头; 蜂蜜上最少, 为 68.0 头。当温度达到工蚁觅食的区间 (18.3 ~ 35℃) 时, 在监测区域内随机或以一定方式放置诱饵 (Drees *et al.*, 2008), 45 ~ 60 min 后, 统计每诱饵的工蚁数量, 并对整片区域的结果进行平均。该方法可评估红火蚁的相对丰度, 工蚁诱集的数量与蚁巢数量呈正相关。根据监测区域的工蚁诱集数量可推算出蚁巢数量, 平均每 10 片热狗诱集到 30 头工蚁相当于 20 个蚁巢/4 050 m²水平 (Drees *et al.*, 2013)。

自 2004 年中国大陆报道发现红火蚁后, 该蚁的快速、准确调查技术是首先要解决的问题之一。基于该问题, 我国红火蚁研究学者在调查方法以及监测设备方面开展了一系列的研究。在调查方法研究方面: 参照国际相关研究, 曾玲等 (2005) 提出了基本的调查、监测方法。黄俊等 (2007) 研究发现诱集法中采用“Z”字形放置诱饵, 诱集工蚁的效率最高; 许益鏊等 (2007) 明确了工蚁诱集数量与诱集时间关系; 诱饵上工蚁数量与蚁

丘体积和表面基部面积明显相关, 因此, 诱集工蚁数量受到蚁巢本身特性影响较大 (黄俊等, 2009)。在前期研究的基础上, 制订了我国红火蚁疫情监测国家标准, 使得该蚁调查监测方法得以规范化 (王福祥等, 2009)。陆永跃等 (2011) 对红火蚁调查监测技术作了更为详细地分类、阐述。在通过对活蚁巢密度、诱饵诱集法的工蚁数量、诱集到工蚁的诱饵比率以及诱饵诱集法和陷阱法获得的工蚁数量之间函数关系等研究基础上, 建立了以上 4 个标示红火蚁发生程度的主要指标的转换体系, 从而为该蚁发生程度评判的进一步规范化、标准化奠定基础 (Lu *et al.*, 2012; 陆永跃等, 2015)。张森泉等 (2021) 对原始红火蚁监测数据全电子化进行分析得到目标红火蚁监测数据, 可直观地掌握红火蚁的监测情况。在监测设备装置研究方面: 刘端云等 (2007) 设计了一种新的红火蚁诱集器具; 梁小松等 (2007) 评估了 6 种引诱剂、2 种诱捕器以及不同风向对红火蚁的野外诱捕效果; Bao *et al.* (2011) 设计出一种以火腿肠为引诱成分的新型诱集器具; 文超等 (2021) 发明了一种快速监测红火蚁发生的方法及装置; 朱乃豪等 (2021) 研制了一种利用监测影像进行图像识别红火蚁的监测方法及系统; 宋侦东等 (2022) 开发了“红火蚁云采集”微信小程序, 实现了简单、便捷、可视化开展红火蚁监测普查的目标。在野外调查中, 无论是使用陷阱法或者是诱集法, 由于工蚁体型微小、活动杂乱, 准确记录工蚁数量一直是难度大且耗时费工的工作。如何才能快速获得准确的工蚁数量一直是红火蚁调查监测中需要解决的实际问题。本研究通过测量不同状态下不同类别的红火蚁工蚁体积、数量和重量, 建立体积与重量、数量间关系模型, 建立应用体积、重量标示工蚁数量的方法, 为田间开展工蚁调查提供了依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

红火蚁蚁群：采集自广州市番禺区海鸥岛 (22°58'7"N, 113°31'28"E)。采集时用铁锹将整个红火蚁蚁巢挖出，收集于塑料箱中带回实验室，静置 1~2 d 待蚁群稳定后，采用“水滴法”将蚁群逼至水面并将其移至塑料培养盒内 (吕利华等, 2006)。在塑料培养盒内壁均匀涂抹一层混合了无水乙醇的滑石粉以防红火蚁逃逸。在实验室条件下使用 10% w/w 糖水和活黄粉虫饲喂。实验室温度和相对湿度分别为 $26 \pm 2^\circ\text{C}$ 和 $60\% \pm 5\%$ 。

其他装置：15 mL 刻度离心管、电子天秤。

1.2 试验方法

红火蚁工蚁分为活体和死亡 2 种类型。死亡工蚁为 -20°C 冰箱冻死后放置 3~7 d 的蚁尸。分别将 2 种类型工蚁的大 (体长: 5~6 mm)、中 (3~4 mm)、小 (2~2.5 mm) 3 种体型工蚁放入 15 mL 离心管中，轻甩 3 下确保每次测量的蚂蚁体积均在刻度线处。记录体积为 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10 mL 时工蚁的数量和重量，每种体型的测量重复 4 次。

1.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件对数据进行相关性分析确

定其是否有相关性，若有相关性则进行非线性回归分析；使用 Origin 2021 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 活体和死亡状态下不同体型和体积红火蚁工蚁的重量和数量

活体和死亡状态下红火蚁工蚁重量和数量均随着体积增大而增加 (表 1、表 2)，相关性分析结果显示 2 种状态下不同体型的红火蚁工蚁的体积与重量、数量均显著相关 (体积与重量相关系数及水平: 大型、中型、小型死亡工蚁分别为 0.997、0.999、0.997, $P < 0.01$; 大型、中型、小型活体工蚁分别为 0.995、0.995、0.999, $P < 0.01$; 体积与数量相关系数及水平: 大型、中型、小型死亡工蚁分别为 0.977、0.995、0.999, $P < 0.01$; 大型、中型、小型活体工蚁分别为 0.977、0.996、0.998, $P < 0.01$)。除了 1 mL 外，死亡和活体状态下不同体型工蚁体积相同时重量绝大部分存在显著差异，总体上看活体工蚁重量明显更重；同一状态下同一体积时重量由大到小总体上呈现为大型工蚁、中型工蚁、小型工蚁 (表 1)。无论是死亡还是活体工蚁，同一体积时其数量均是小型工蚁最多，中型工蚁次之，大型工蚁最少。同一体积活体工蚁数量绝大部分显著少于死亡工蚁 (表 2)。

表 1 活体和死亡状态下不同体型和体积红火蚁工蚁的重量

Table 1 Weights of red fire ant workers at different body sizes and volumes in live and dead states

体积 (mL) Volume	死亡工蚁重量 (g) Dead workers			活体工蚁重量 (g) Living workers		
	大型 Large	中型 Medium	小型 Small	大型 Large	中型 Medium	小型 Small
1	0.28 ± 0.02 Ai	0.16 ± 0.01 Bj	0.10 ± 0.00 Cj	0.28 ± 0.00 Aj	0.19 ± 0.00 Bi	0.14 ± 0.01 Cj
2	0.37 ± 0.02 Bi	0.30 ± 0.01 Ci	0.18 ± 0.00 Di	0.44 ± 0.02 Ai	0.30 ± 0.01 Ci	0.25 ± 0.01 Ei
3	0.65 ± 0.02 Bh	0.56 ± 0.02 Ch	0.32 ± 0.00 Dh	0.78 ± 0.01 Ah	0.65 ± 0.01 Bh	0.58 ± 0.02 Ch
4	0.90 ± 0.01 Cg	0.76 ± 0.02 Dg	0.56 ± 0.02 Eg	1.12 ± 0.01 Ag	1.01 ± 0.04 Bg	0.78 ± 0.01 Dg
5	1.18 ± 0.02 Cf	1.05 ± 0.03 Df	0.69 ± 0.00 Ef	1.61 ± 0.01 Af	1.49 ± 0.04 Bf	1.07 ± 0.03 Df
6	1.55 ± 0.03 Be	1.26 ± 0.02 Ce	0.93 ± 0.04 De	1.96 ± 0.01 Ae	1.88 ± 0.02 Ae	1.33 ± 0.03 Ce
7	1.75 ± 0.03 Cd	1.43 ± 0.02 Ed	1.14 ± 0.01 Fd	2.53 ± 0.02 Ad	2.31 ± 0.03 Bd	1.57 ± 0.02 Dd
8	2.07 ± 0.03 Cc	1.69 ± 0.20 Ec	1.35 ± 0.01 Fe	3.04 ± 0.04 Ac	2.72 ± 0.04 Bc	1.80 ± 0.01 Dc
9	2.26 ± 0.02 Cb	1.85 ± 0.03 Eb	1.54 ± 0.01 Fb	3.29 ± 0.01 Ab	2.86 ± 0.03 Bb	2.11 ± 0.03 Db
10	2.50 ± 0.01 Ca	2.10 ± 0.05 Ea	1.73 ± 0.01 Fa	3.60 ± 0.01 Aa	3.20 ± 0.01 Ba	2.36 ± 0.01 Da

注：表中数值为平均值 ± 标准误。经单因素方差分析 (Tukey 法)，表中同行数据后具相同大写字母表示差异不显著，同列数据后具小写字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。Note: Values in the table were the mean plus or minus standard deviation. By one-way ANOVA (Tukey's method), the same capital letters in the same column in the table indicated that the differences were not significant, and lowercase letters in the same column indicated that the differences were not significant ($P > 0.05$). The same below.

表 2 活体和死亡状态下不同体型和体积红火蚁工蚁的数量

Table 2 Number of red fire ant workers at different body size and volume in live and dead state

体积 (mL) Volume	死亡工蚁数量 (头) Dead workers			活体工蚁数量 (头) Living workers		
	大型 Large	中型 Medium	小型 Small	大型 Large	中型 Medium	小型 Small
1	101 ± 5. 05 CDi	288 ± 21. 95 Bj	485 ± 5. 75 Aj	79 ± 1. 25 Di	145 ± 9. 60 Cj	436 ± 20. 59 Aj
2	218 ± 5. 87 Dh	411 ± 12. 25 Bi	990 ± 25. 24 Ai	145 ± 5. 72 Ehi	275 ± 16. 44 Ci	1 014 ± 12. 07 Ai
3	262 ± 8. 21 Dhg	547 ± 16. 52 Bh	1 264 ± 34. 43 Ah	186 ± 3. 47 Eh	424 ± 10. 08 Ch	1 367 ± 9. 99 Ah
4	349 ± 9. 66 Cg	725 ± 19. 17 Bg	1 713 ± 36. 30 Ag	278 ± 5. 68 Cg	567 ± 13. 14 Bg	1 640 ± 33. 13 Ag
5	525 ± 13. 44 Ef	829 ± 13. 68 Cf	2 352 ± 49. 20 Af	413 ± 14. 65 Ff	683 ± 12. 85 Df	1 997 ± 8. 84 Bf
6	691 ± 14. 97 Ee	1 156 ± 25. 23 Ce	2 771 ± 16. 61 Ae	595 ± 9. 58 Fe	824 ± 11. 89 De	2 383 ± 27. 15 Be
7	793 ± 15. 78 Ed	1 327 ± 21. 73 Cd	3 278 ± 12. 79 Ad	740 ± 13. 74 Ed	1 018 ± 24. 63 Dd	2 720 ± 50. 56 Bd
8	1 098 ± 11. 75 DEc	1 506 ± 23. 80 Cc	3 759 ± 45. 62 Ac	998 ± 38. 36 Ec	1 179 ± 24. 64 Dc	3 078 ± 59. 42 Bc
9	1 297 ± 25. 04 Eb	1 727 ± 23. 38 Cb	4 141 ± 59. 40 Ab	1 191 ± 25. 57 Eb	1 422 ± 30. 37 Db	3 579 ± 22. 94 Bb
10	1 587 ± 42. 08 Da	1 907 ± 32. 81 Ca	4 644 ± 75. 44 Aa	1 410 ± 24. 92 Ea	1 546 ± 34. 59 Da	4 074 ± 45. 83 Ba

2.2 不同体型死亡和活体工蚁的体积、重量与数量之间关系模型

回归分析结果显示, 两种状态下不同体型红火蚁的体积与重量、数量之间的关系符合幂函数模型: $Y=kX^a$, Y 为工蚁重量或数量; X 为工蚁体积或重量, k 和 a 为系数。建立了工蚁体积 - 工蚁重量、工蚁体积 - 工蚁数量、工蚁重量 - 工蚁数量 3 类 18 个模型 (图 1、图 2、图 3)。由各个模型的决定系数 ($P<0.05$) 可知, 模型对实际观测值均具有较好的拟合度。

2.3 红火蚁工蚁体积与重量、数量快速估算分级

应用以上模型计算在死亡和活体状态下设定的红火蚁不同体型工蚁体积或者重量时工蚁数量, 用于快速估计工蚁数量 (表 3、表 4、表 5), 供实际调查时记录工蚁数量使用。田间调查时所采集的工蚁的重量或者体积可通过电子秤或刻度离心管得出。例如, 在田间调查中获得了体积为 5 mL 活体中型工蚁时, 那么其重量应是 1.43 g 左右 (1.36 ~ 1.50 g), 数量应是 708 头左右 (673 ~ 743 头); 在田间调查得到重量为 0.02 g 活体小型工蚁时, 其数量应该是 92 头左右 (87 ~ 97 头)。

3 结论与讨论

本文测定了在死亡和活体状态下红火蚁不同体型工蚁体积为 1 ~ 10 mL 时的重量和数量, 明确了工蚁体积、重量和数量之间的相关性, 建立

3 个参数之间关系的幂函数模型, 并应用该系列模型计算、制作了依据体积估计工蚁重量, 依据体积、重量估计工蚁数量的分级表, 为田间红火蚁工蚁数量调查提供了参考方法。关于红火蚁数量快速估算也有相关报道。刘端云等 (2007) 使用直接计数法和称量法来估算红火蚁数量。虽然该方法较为简便, 但是未包含该蚁工蚁的体型及其重量差异等因素。此外, 林妙凤等 (2016) 建立了红火蚁蚁巢体积与蚁群虫态数量的关系模型, 该模型表明工蚁数量与蚁丘体积及表面基部面积的正相关性较其他虫态强。于炜等 (2019) 明确了黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* 的觅食群体大小 (Y) 以及工蚁体长 (X) 之间的函数关系, 计算得出拟合的指数函数方程式为: $Y=1.8389e^{0.7185X}$ ($R^2=0.7834$)。许益鏊等 (2007) 研究表明, 红火蚁发现食物后召集的工蚁数量随着诱饵放置时间的延长呈不断增加的趋势, 30 min 左右诱饵诱集的工蚁数达到最大值。该时间段诱集的工蚁数量可参照本研究所建立的分级表进行快速估算。本研究发现, 活体和死亡状态下不同体型工蚁重量、数量差异较大, 因此在快速估计工蚁数量时应考虑工蚁活体和死亡状态以及不同体型等因素。尽管大部分田间红火蚁调查工作者在调查后可即时在田间条件下参考工蚁活体状态的分级表进行快速估算诱集的工蚁数量, 但考虑到部分田间红火蚁调查工作者为提高田间工作效率以及便捷性, 选择将田间诱集的工蚁样本统一

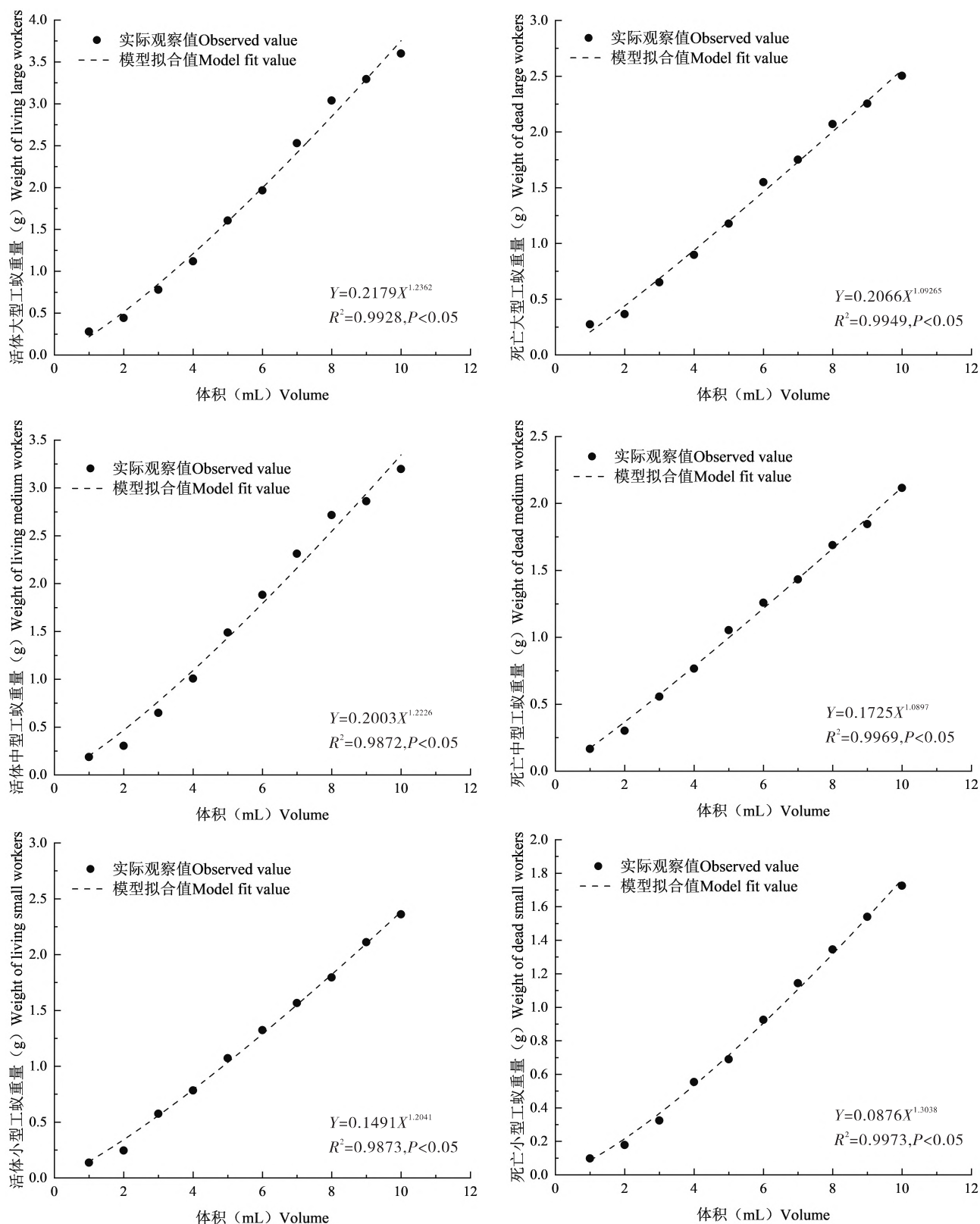


图1 红火蚁不同体型工蚁体积与重量之间关系

Fig. 1 Relationship model between volume and weight of fire ant workers with different body types

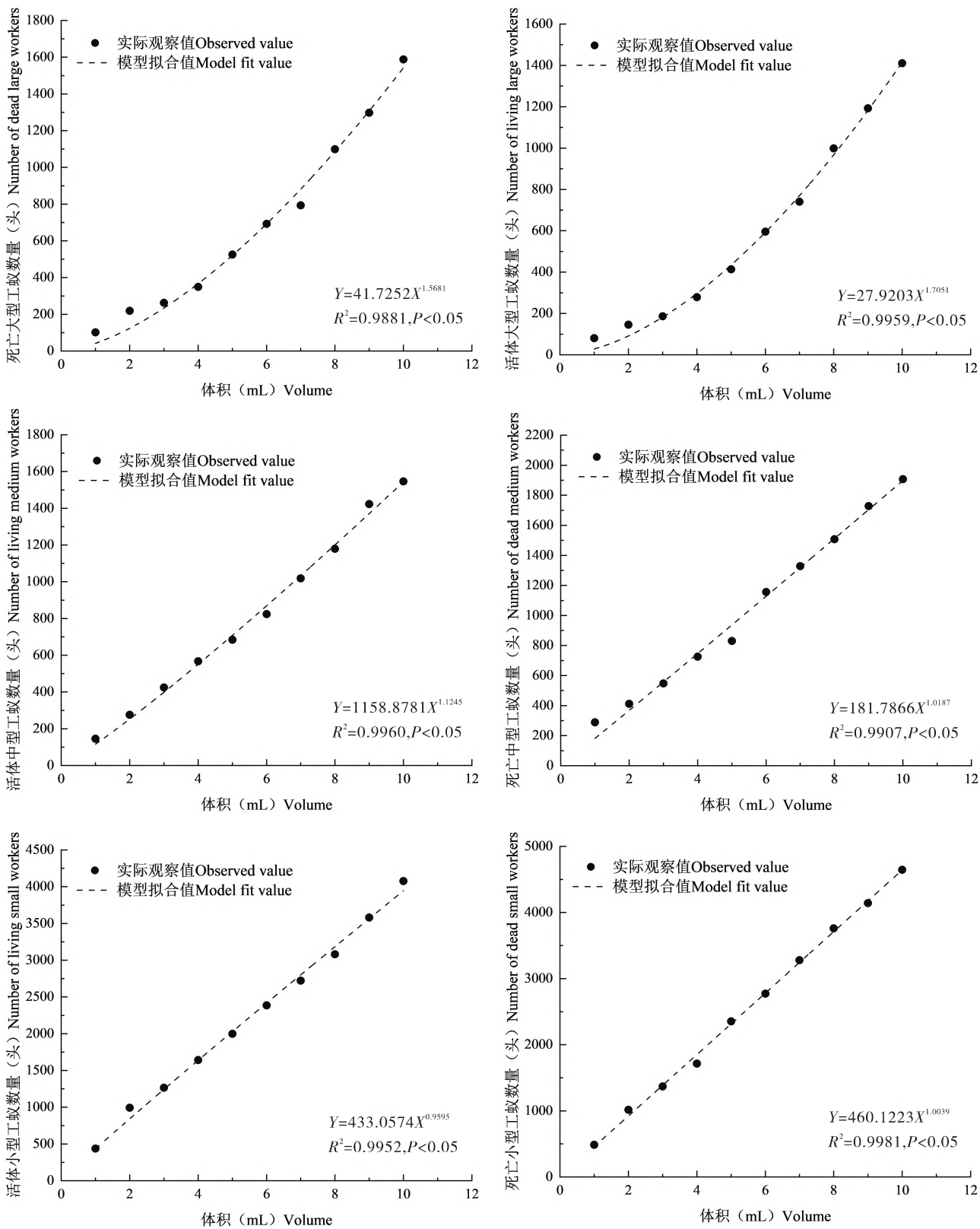


图2 红火蚁不同体型工蚁体积与数量之间关系

Fig. 2 Relationship model between volume and quantity of fire ant workers with different body types

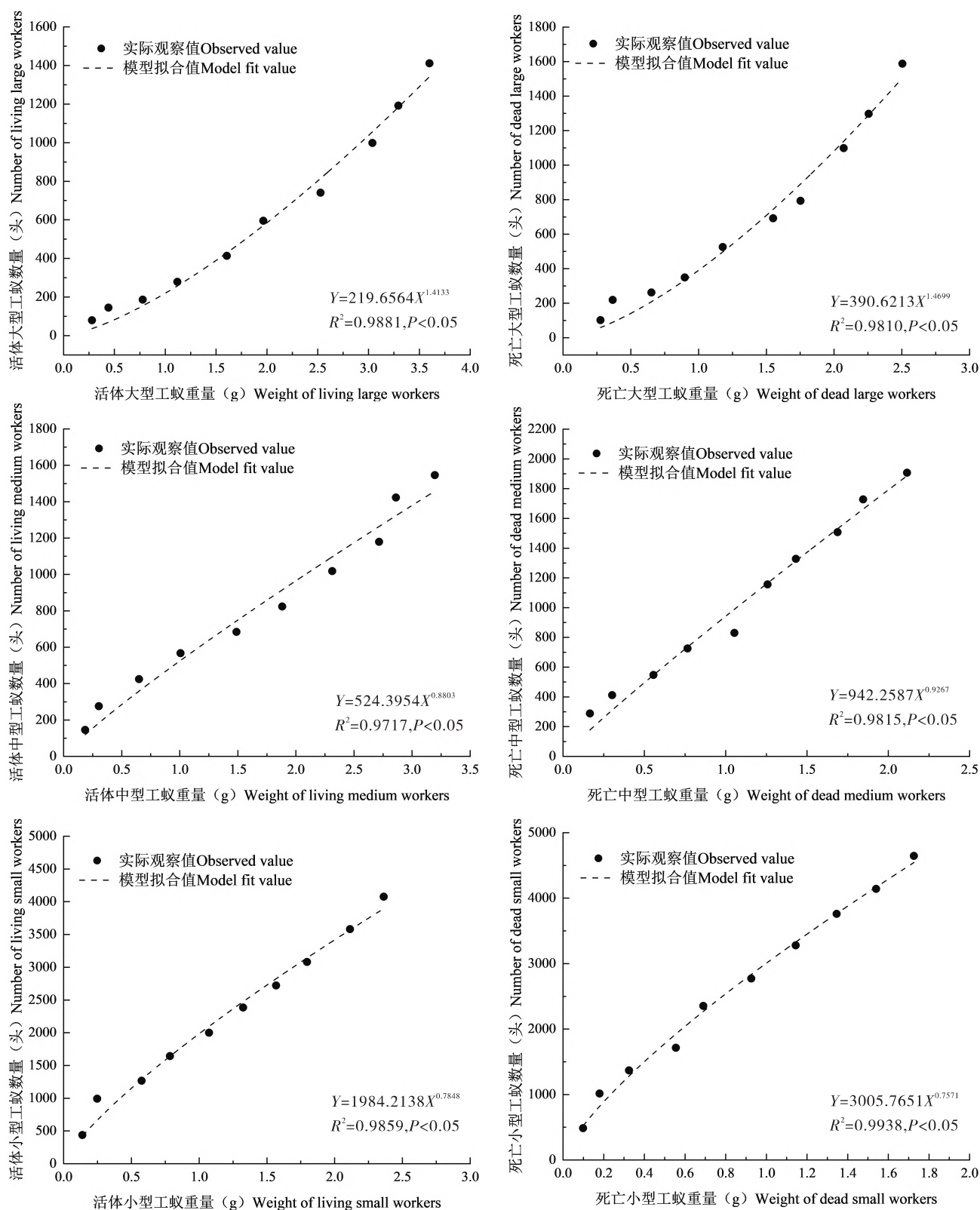


图3 红火蚁不同体型工蚁重量与数量之间关系

Fig. 3 Relationship model between weight and number of fire ant workers with different sizes

表 3 在死亡和活体状态下应用红火蚁不同体型工蚁的体积估计重量的分级

Table 3 Grade for estimating weight by using the volume of different size of fire ant workers in dead and live states

体积 (mL) Volume	死亡状态下工蚁重量(g) Weight of workers in dead state			活体状态下工蚁重量(g) Weight of workers in living state		
	大型 Large	中型 Medium	小型 Small	大型 Large	中型 Medium	小型 Small
0.2	0.04(0.03 ~0.04)	0.03(0.03)	0.01(0.01)	0.04(0.03 ~0.04)	0.03(0.03)	0.02(0.02)
0.4	0.08(0.07 ~0.08)	0.06(0.06 ~0.07)	0.03(0.03)	0.08(0.07 ~0.08)	0.07(0.06 ~0.07)	0.05(0.05)
0.6	0.12(0.11 ~0.12)	0.10(0.09 ~0.10)	0.05(0.04 ~0.05)	0.12(0.11 ~0.12)	0.11(0.10 ~0.11)	0.08(0.08)
0.8	0.16(0.15 ~0.17)	0.14(0.13 ~0.14)	0.07(0.06 ~0.07)	0.17(0.16 ~0.17)	0.15(0.14 ~0.16)	0.11(0.11 ~0.12)
1.0	0.21(0.20 ~0.22)	0.17(0.16 ~0.18)	0.09(0.08 ~0.09)	0.22(0.21 ~0.23)	0.20(0.19 ~0.21)	0.15(0.14 ~0.16)
1.2	0.25(0.24 ~0.26)	0.21(0.20 ~0.22)	0.11(0.11 ~0.12)	0.27(0.26 ~0.29)	0.25(0.24 ~0.26)	0.19(0.18 ~0.19)
1.4	0.30(0.28 ~0.31)	0.25(0.24 ~0.26)	0.14(0.13 ~0.14)	0.33(0.31 ~0.35)	0.30(0.29 ~0.32)	0.22(0.21 ~0.23)
1.6	0.35(0.33 ~0.36)	0.29(0.27 ~0.30)	0.16(0.15 ~0.17)	0.39(0.37 ~0.41)	0.36(0.34 ~0.37)	0.26(0.25 ~0.28)
1.8	0.39(0.37 ~0.41)	0.33(0.31 ~0.34)	0.19(0.18 ~0.20)	0.45(0.43 ~0.47)	0.41(0.39 ~0.43)	0.30(0.29 ~0.32)
2.0	0.44(0.42 ~0.46)	0.37(0.35 ~0.39)	0.22(0.21 ~0.23)	0.51(0.49 ~0.54)	0.47(0.44 ~0.49)	0.34(0.33 ~0.36)
2.2	0.49(0.46 ~0.51)	0.41(0.39 ~0.43)	0.24(0.23 ~0.26)	0.58(0.55 ~0.61)	0.53(0.50 ~0.55)	0.39(0.37 ~0.40)
2.4	0.54(0.51 ~0.56)	0.45(0.43 ~0.47)	0.27(0.26 ~0.29)	0.64(0.61 ~0.68)	0.58(0.55 ~0.61)	0.43(0.41 ~0.45)
2.6	0.59(0.56 ~0.62)	0.49(0.46 ~0.51)	0.30(0.29 ~0.32)	0.71(0.67 ~0.75)	0.64(0.61 ~0.68)	0.47(0.45 ~0.49)
2.8	0.64(0.60 ~0.67)	0.53(0.50 ~0.56)	0.34(0.32 ~0.35)	0.78(0.74 ~0.82)	0.71(0.67 ~0.74)	0.52(0.49 ~0.54)
3.0	0.69(0.65 ~0.72)	0.57(0.54 ~0.60)	0.37(0.35 ~0.39)	0.85(0.81 ~0.89)	0.77(0.73 ~0.81)	0.56(0.53 ~0.59)
3.2	0.74(0.70 ~0.77)	0.61(0.58 ~0.64)	0.40(0.38 ~0.42)	0.92(0.87 ~0.96)	0.83(0.79 ~0.87)	0.60(0.57 ~0.64)
3.4	0.79(0.75 ~0.83)	0.65(0.62 ~0.69)	0.43(0.41 ~0.45)	0.99(0.94 ~1.04)	0.89(0.85 ~0.94)	0.65(0.62 ~0.68)
3.6	0.84(0.80 ~0.88)	0.70(0.66 ~0.73)	0.47(0.44 ~0.49)	1.06(1.01 ~1.11)	0.96(0.91 ~1.01)	0.70(0.66 ~0.73)
3.8	0.89(0.84 ~0.93)	0.74(0.70 ~0.78)	0.50(0.47 ~0.52)	1.13(1.08 ~1.19)	1.02(0.97 ~1.08)	0.74(0.71 ~0.78)
4.0	0.94(0.89 ~0.99)	0.78(0.74 ~0.82)	0.53(0.51 ~0.56)	1.21(1.15 ~1.27)	1.09(1.04 ~1.15)	0.79(0.75 ~0.83)
4.2	0.99(0.94 ~1.04)	0.82(0.78 ~0.87)	0.57(0.54 ~0.60)	1.28(1.22 ~1.35)	1.16(1.10 ~1.22)	0.84(0.80 ~0.88)
4.4	1.04(0.99 ~1.09)	0.87(0.82 ~0.91)	0.60(0.57 ~0.63)	1.36(1.29 ~1.43)	1.23(1.16 ~1.29)	0.89(0.84 ~0.93)
4.6	1.09(1.04 ~1.15)	0.91(0.86 ~0.96)	0.64(0.61 ~0.67)	1.44(1.37 ~1.51)	1.29(1.23 ~1.36)	0.94(0.89 ~0.98)
4.8	1.15(1.09 ~1.20)	0.95(0.91 ~1.00)	0.68(0.64 ~0.71)	1.51(1.44 ~1.59)	1.36(1.30 ~1.43)	0.99(0.94 ~1.04)
5.0	1.20(1.14 ~1.26)	1.00(0.95 ~1.05)	0.71(0.68 ~0.75)	1.59(1.51 ~1.67)	1.43(1.36 ~1.50)	1.04(0.98 ~1.09)
5.2	1.25(1.19 ~1.31)	1.04(0.99 ~1.09)	0.75(0.71 ~0.79)	1.67(1.59 ~1.76)	1.50(1.43 ~1.58)	1.09(1.03 ~1.14)
5.6	1.36(1.29 ~1.43)	1.13(1.07 ~1.18)	0.83(0.79 ~0.87)	1.83(1.74 ~1.92)	1.65(1.56 ~1.73)	1.19(1.13 ~1.25)
6.0	1.46(1.39 ~1.54)	1.22(1.15 ~1.28)	0.91(0.86 ~0.95)	2.00(1.90 ~2.10)	1.79(1.70 ~1.88)	1.29(1.23 ~1.35)
6.4	1.57(1.49 ~1.65)	1.30(1.24 ~1.37)	0.99(0.94 ~1.03)	2.16(2.05 ~2.27)	1.94(1.84 ~2.03)	1.39(1.32 ~1.46)
6.8	1.68(1.59 ~1.76)	1.39(1.32 ~1.46)	1.07(1.01 ~1.12)	2.33(2.21 ~2.45)	2.09(1.98 ~2.19)	1.50(1.42 ~1.57)
7.2	1.79(1.70 ~1.88)	1.48(1.41 ~1.56)	1.15(1.09 ~1.21)	2.50(2.38 ~2.63)	2.24(2.13 ~2.35)	1.61(1.53 ~1.69)
7.6	1.89(1.80 ~1.99)	1.57(1.49 ~1.65)	1.23(1.17 ~1.29)	2.67(2.54 ~2.81)	2.39(2.27 ~2.51)	1.71(1.63 ~1.80)
8.0	2.00(1.90 ~2.10)	1.66(1.58 ~1.75)	1.32(1.25 ~1.38)	2.85(2.71 ~2.99)	2.55(2.42 ~2.67)	1.82(1.73 ~1.91)
8.4	2.11(2.01 ~2.22)	1.75(1.67 ~1.84)	1.40(1.33 ~1.47)	3.03(2.87 ~3.18)	2.70(2.57 ~2.84)	1.93(1.84 ~2.03)
8.8	2.22(2.11 ~2.34)	1.84(1.75 ~1.94)	1.49(1.42 ~1.57)	3.20(3.04 ~3.37)	2.86(2.72 ~3.00)	2.05(1.94 ~2.15)
9.2	2.33(2.22 ~2.45)	1.94(1.84 ~2.03)	1.58(1.50 ~1.66)	3.39(3.22 ~3.56)	3.02(2.87 ~3.17)	2.16(2.05 ~2.27)
9.6	2.45(2.32 ~2.57)	2.03(1.93 ~2.13)	1.67(1.59 ~1.76)	3.57(3.39 ~3.75)	3.18(3.02 ~3.34)	2.27(2.16 ~2.38)
10.0	2.56(2.43 ~2.69)	2.12(2.01 ~2.23)	1.76(1.68 ~1.85)	3.75(3.57 ~3.94)	3.34(3.18 ~3.51)	2.39(2.27 ~2.50)

注: 表中数值为模型预测均值(预测均值的 5% 上限、下限), 以下各表同此。Note: The values in the table were the model predicted mean values (5% upper and lower limits of the predicted mean values) . The following tables were the same.

表 4 在死亡和活体状态下应用红火蚁不同体型工蚁的体积估计数量的分级

Table 4 Grade for estimating number by using the volume of different size of fire ant workers in dead and live states

体积 (mL) Volume	死亡状态下工蚁数量(头) Number of workers in dead state			活体状态下工蚁数量(头) Number of workers in living state		
	大型 Large	中型 Medium	小型 Small	大型 Large	中型 Medium	小型 Small
0.2	3(3 ~ 4)	35(34 ~ 37)	91(87 ~ 96)	2(2)	19(18 ~ 20)	92(88 ~ 97)
0.4	10(9 ~ 10)	71(68 ~ 75)	183(174 ~ 193)	6(6)	41(39 ~ 43)	180(171 ~ 189)
0.6	19(18 ~ 20)	108(103 ~ 113)	276(262 ~ 289)	12(11 ~ 12)	65(62 ~ 69)	265(252 ~ 279)
0.8	29(28 ~ 31)	145(138 ~ 152)	368(349 ~ 386)	19(18 ~ 20)	90(86 ~ 95)	350(332 ~ 367)
1.0	42(40 ~ 44)	182(173 ~ 191)	460(437 ~ 483)	28(27 ~ 29)	116(110 ~ 122)	433(411 ~ 455)
1.2	56(53 ~ 58)	219(208 ~ 230)	553(525 ~ 580)	38(36 ~ 40)	142(135 ~ 149)	516(490 ~ 542)
1.4	71(67 ~ 74)	256(243 ~ 269)	645(613 ~ 677)	50(47 ~ 52)	169(161 ~ 178)	598(568 ~ 628)
1.6	87(83 ~ 92)	293(279 ~ 308)	738(701 ~ 774)	62(59 ~ 65)	197(187 ~ 206)	680(646 ~ 714)
1.8	105(100 ~ 110)	331(314 ~ 347)	830(789 ~ 872)	76(72 ~ 80)	224(213 ~ 236)	761(723 ~ 799)
2.0	124(118 ~ 130)	368(350 ~ 387)	923(877 ~ 969)	91(86 ~ 96)	253(240 ~ 265)	842(800 ~ 884)
2.2	144(136 ~ 151)	406(386 ~ 426)	1 015(965 ~ 1 066)	107(102 ~ 112)	281(267 ~ 295)	923(877 ~ 969)
2.4	165(156 ~ 173)	443(421 ~ 466)	1 108(1 053 ~ 1 163)	124(118 ~ 130)	310(295 ~ 326)	1 003(953 ~ 1053)
2.6	187(177 ~ 196)	481(457 ~ 505)	1 201(1 141 ~ 1 261)	142(135 ~ 150)	339(322 ~ 356)	1 083(1 029 ~ 1 137)
2.8	210(199 ~ 220)	519(493 ~ 545)	1 294(1 229 ~ 1 358)	162(153 ~ 170)	369(350 ~ 387)	1 163(1 105 ~ 1 221)
3.0	234(222 ~ 245)	557(529 ~ 585)	1 386(1 317 ~ 1 456)	182(173 ~ 191)	399(379 ~ 419)	1 243(1 181 ~ 1 305)
3.2	259(246 ~ 271)	595(565 ~ 624)	1 479(1 405 ~ 1 553)	203(193 ~ 213)	429(407 ~ 450)	1 322(1 256 ~ 1 388)
3.4	284(270 ~ 299)	632(601 ~ 664)	1 572(1 493 ~ 1 650)	225(214 ~ 236)	459(436 ~ 482)	1 401(1 331 ~ 1 471)
3.6	311(295 ~ 327)	670(637 ~ 704)	1 665(1 581 ~ 1 748)	248(236 ~ 260)	489(465 ~ 514)	1 480(1 406 ~ 1 554)
3.8	338(322 ~ 355)	708(673 ~ 744)	1 758(1 670 ~ 1 845)	272(258 ~ 286)	520(494 ~ 546)	1 559(1 481 ~ 1 637)
4.0	367(349 ~ 385)	746(709 ~ 784)	1 850(1 758 ~ 1 943)	297(282 ~ 312)	551(523 ~ 578)	1 638(1 556 ~ 1 720)
4.2	396(376 ~ 416)	784(745 ~ 823)	1 943(1 846 ~ 2 041)	323(306 ~ 339)	582(553 ~ 611)	1 716(1 630 ~ 1 802)
4.4	426(405 ~ 447)	822(781 ~ 863)	2 036(1 934 ~ 2 138)	349(332 ~ 367)	613(582 ~ 644)	1 794(1 705 ~ 1 884)
4.6	457(434 ~ 480)	860(817 ~ 903)	2 129(2 023 ~ 2 236)	377(358 ~ 396)	645(612 ~ 677)	1 873(1 779 ~ 1 966)
4.8	488(464 ~ 513)	899(854 ~ 943)	2 222(2 111 ~ 2 333)	405(385 ~ 425)	676(642 ~ 710)	1 951(1 853 ~ 2 048)
5.0	521(495 ~ 547)	937(890 ~ 984)	2 315(2 199 ~ 2 431)	434(413 ~ 456)	708(673 ~ 743)	2 029(1 927 ~ 2 130)
5.2	554(526 ~ 581)	975(926 ~ 1 024)	2 408(2 288 ~ 2 528)	464(441 ~ 487)	740(703 ~ 777)	2 106(2 001 ~ 2 212)
5.6	622(591 ~ 653)	1 051(999 ~ 1 104)	2 594(2 464 ~ 2 724)	527(500 ~ 553)	804(764 ~ 844)	2 262(2 149 ~ 2 375)
6.0	693(658 ~ 727)	1 128(1 071 ~ 1 184)	2 780(2 641 ~ 2 919)	593(563 ~ 622)	869(826 ~ 912)	2 416(2 296 ~ 2 537)
6.4	767(728 ~ 805)	1 205(1 144 ~ 1 265)	2 966(2 818 ~ 3 114)	662(628 ~ 695)	934(888 ~ 981)	2 571(2 442 ~ 2 699)
6.8	843(801 ~ 885)	1 281(1 217 ~ 1 345)	3 152(2 995 ~ 3 310)	734(697 ~ 770)	1 000(950 ~ 1 050)	2 725(2 589 ~ 2 861)
7.2	922(876 ~ 968)	1 358(1 290 ~ 1 426)	3 338(3 172 ~ 3 505)	809(768 ~ 849)	1 067(1 013 ~ 1 120)	2 878(2 735 ~ 3 022)
7.6	1 004(954 ~ 1 054)	1 435(1 363 ~ 1 507)	3 525(3 348 ~ 3 701)	887(842 ~ 931)	1 201(1 141 ~ 1 261)	3 032(2 880 ~ 3 183)
8.0	1 088(1 033 ~ 1 142)	1 512(1 436 ~ 1 588)	3 711(3 525 ~ 3 896)	968(919 ~ 1 016)	1 269(1 205 ~ 1 332)	3 185(3 025 ~ 3 344)
8.4	1 174(1 116 ~ 1 233)	1 589(1 510 ~ 1 668)	3 897(3 702 ~ 4 092)	1 052(999 ~ 1 104)	1 269(1 205 ~ 1 332)	3 337(3 170 ~ 3 504)
8.8	1 263(1 200 ~ 1 326)	1 666(1 583 ~ 1 749)	4 084(3 879 ~ 4 288)	1 139(1 082 ~ 1 195)	1 337(1 270 ~ 1 404)	3 490(3 315 ~ 3 664)
9.2	1 354(1 287 ~ 1 422)	1 743(1 656 ~ 1 830)	4 270(4 056 ~ 4 483)	1 228(1 167 ~ 1 290)	1 405(1 335 ~ 1 476)	3 642(3 460 ~ 3 824)
9.6	1 448(1 375 ~ 1 520)	1 821(1 730 ~ 1 912)	4 456(4 233 ~ 4 679)	1 321(1 255 ~ 1 387)	1 474(1 401 ~ 1 548)	3 793(3 604 ~ 3 983)
10.0	1 543(1 466 ~ 1 621)	1 898(1 803 ~ 1 993)	4 643(4 411 ~ 4 875)	1 416(1 345 ~ 1 487)	1 543(1 466 ~ 1 621)	3 945(3 748 ~ 4 142)

表 5 在死亡和活体状态下应用红火蚁不同体型工蚁重量估计数量的分级

Table 5 Grade for estimating number by using the weight of different size of fire ant workers in dead and live states

重量 (g)	死亡状态下工蚁数量(头)			活体状态下工蚁数量(头)		
	Number of workers in the dead state			Number of workers in the living state		
Weight	大型 Large	中型 Medium	小型 Small	大型 Large	中型 Medium	小型 Small
0.02	1(1)	25(24~26)	155(148~163)	1(1)	17(16~18)	92(87~97)
0.04	3(3~4)	48(45~50)	263(250~276)	2(2)	31(29~32)	159(151~167)
0.06	6(6~7)	69(66~73)	357(339~375)	4(4)	44(42~46)	218(207~229)
0.08	10(9~10)	91(86~95)	444(422~466)	6(6)	57(54~60)	273(260~287)
0.10	13(13~14)	112(106~117)	526(500~552)	8(8~9)	69(66~73)	326(309~342)
0.12	17(16~18)	132(125~139)	604(573~634)	11(10~12)	81(77~85)	376(357~395)
0.14	22(21~23)	152(145~160)	678(644~712)	14(13~14)	93(88~98)	424(403~445)
0.16	26(25~28)	172(164~181)	750(713~788)	16(16~17)	104(99~110)	471(447~495)
0.18	31(30~33)	192(183~202)	820(779~861)	19(18~20)	116(110~122)	517(491~542)
0.20	37(35~39)	212(201~223)	889(844~933)	23(21~24)	127(121~134)	561(533~589)
0.30	67(63~70)	309(293~324)	1 208(1 148~1 268)	40(38~42)	182(173~191)	771(733~810)
0.40	102(97~107)	403(383~423)	1 502(1 427~1 577)	60(57~63)	234(222~246)	967(918~1 015)
0.50	141(134~148)	496(471~520)	1 778(1 690~1 867)	82(78~86)	285(271~299)	1 152(1 094~1 209)
0.60	184(175~194)	587(558~616)	2 042(1 940~2 144)	106(101~112)	334(318~351)	1 329(1 262~1 395)
0.70	231(220~243)	677(643~711)	2 294(2 180~2 409)	132(126~139)	383(364~402)	1 500(1 425~1 575)
0.80	281(267~295)	766(728~805)	2 539(2 412~2 665)	160(152~168)	431(409~452)	1 665(1 582~1 749)
0.90	335(318~351)	855(812~897)	2 775(2 637~2 914)	189(179~198)	478(454~502)	1 827(1 735~1 918)
1.00	391(371~410)	942(895~989)	3 006(2 855~3 156)	219(208~230)	524(498~551)	1 984(1 885~2 083)
1.10	449(427~472)	1 029(978~1 081)	3 231(3 069~3 392)	251(238~263)	570(542~599)	2 138(2 031~2 245)
1.20	511(485~536)	1 116(1 060~1 171)	3 451(3 278~3 623)	283(269~298)	616(585~646)	2 289(2 175~2 404)
1.30	574(546~603)	1 202(1 142~1 262)	3 666(3 483~3 850)	317(301~333)	661(628~694)	2 438(2 316~2 560)
1.40	641(609~673)	1 287(1 223~1 351)	3 878(3 684~4 072)	352(335~370)	705(670~740)	2 584(2 455~2 713)
1.50	709(673~744)	1 372(1 303~1 441)	4 086(3 881~4 290)	388(369~408)	749(712~787)	2 728(2 591~2 864)
1.60	779(740~818)	1 457(1 384~1 529)	4 290(4 076~4 505)	426(404~447)	793(753~833)	2 869(2 726~3 013)
1.70	852(809~895)	1 541(1 464~1 618)	4 492(4 267~4 716)	464(440~487)	837(795~878)	3 009(2 859~3 160)
1.80	927(880~973)	1 625(1 543~1 706)	4 691(4 456~4 925)	503(477~528)	880(836~924)	3 147(2 990~3 305)
1.90	1 003(953~1 054)	1 708(1 623~1 793)	4 887(4 642~5 131)	543(515~570)	923(877~969)	3 284(3 119~3 448)
2.00	1 082(1 028~1 136)	1 791(1 702~1 881)	5 080(4 826~5 334)	583(554~612)	965(917~1 014)	3 419(3 248~3 589)
2.20	1 245(1 183~1 307)	1 957(1 859~2 054)	5 460(5 187~5 733)	667(634~701)	1 050(997~1 102)	3 684(3 500~3 868)
2.40	1 415(1 344~1 485)	2 121(2 015~2 227)	5 832(5 540~6 124)	755(717~792)	1 133(1 077~1 190)	3 944(3 747~4 142)
2.60	1 591(1 512~1 671)	2 284(2 170~2 398)	6 196(5 886~6 506)	845(803~887)	1 216(1 155~1 277)	4 200(3 990~4 410)
2.80	1 774(1 686~1 863)	2 447(2 324~2 569)	6 554(6 226~6 882)	938(892~985)	1 298(1 233~1 363)	4 452(4 229~4 674)
3.00	1 964(1 866~2 062)	2 608(2 478~2 738)	6 905(6 560~7 251)	1 035(983~1 086)	1 379(1 310~1 448)	4 699(4 464~4 934)
3.20	2 159(2 051~2 267)	2 769(2 630~2 907)	7 251(6 889~7 614)	1 133(1 077~1 190)	1 460(1 387~1 533)	4 943(4 696~5 191)
3.40	2 360(2 242~2 478)	2 929(2 782~3 075)	7 592(7 212~7 971)	1 235(1 173~1 297)	1 540(1 463~1 617)	5 184(4 925~5 444)
3.60	2 567(2 439~2 696)	3 088(2 934~3 243)	7 927(7 531~8 324)	1 339(1 272~1 406)	1 619(1 538~1 700)	5 422(5 151~5 693)
3.80	2 780(2 641~2 919)	3 247(3 084~3 409)	8 259(7 846~8 672)	1 445(1 373~1 517)	1 698(1 613~1 783)	5 657(5 374~5 940)
4.00	2 997(2 847~3 147)	3 405(3 235~3 575)	8 586(8 156~9 015)	1 554(1 476~1 631)	1 777(1 688~1 866)	5 890(5 595~6 184)
4.20	3 220(3 059~3 381)	3 562(3 384~3 740)	8 909(8 463~9 354)	1 664(1 581~1 748)	1 855(1 762~1 948)	6 119(5 814~6 425)
4.40	3 448(3 276~3 620)	3 719(3 533~3 905)	9 228(8 767~9 690)	1 778(1 689~1 866)	1 932(1 836~2 029)	6 347(6 030~6 664)
4.60	3 681(3 497~3 865)	3 876(3 682~4 069)	9 544(9 067~1 0021)	1 893(1 789~1 988)	2 069(1 969~2 170)	6 572(6 244~6 901)
4.80	3 918(3 723~4 114)	4 032(3 830~4 233)	9 857(9 364~1 0349)	2 010(1 910~2 111)	2 186(2 082~2 291)	6 796(6 456~7 135)
5.00	4 161(3 953~4 369)	4 287(4 078~4 496)	10 166(9 658~1 0674)	2 130(2 023~2 236)	2 263(2 154~2 371)	7 017(6 666~7 368)

带回室内,放置于 -20°C 冰箱将工蚁冻死后再进行计算诱集工蚁数,此时可参照工蚁死亡状态的分级表进行估算工蚁数量。另外,工蚁死亡状态的分级表还可应用于评价药剂在实验室条件下对蚁群的毒力作用,估算药后工蚁的死亡数量。一般在田间调查中诱集的是不同体型工蚁的混合体,如果对其大、中、小型工蚁一般性比例比较清楚的情况下,可使用本文所建了的相关模型进行混合计算,也可获得比较准确的结果。鉴于不同生态区域、不同季节、不同蚁群中红火蚁工蚁体型及比例常存在差异,因此,实际应用本估测方法时应综合考虑相关影响因素。

参考文献 (References)

- Bao SZ, Kalle L, Shih CJ. A new baited trap for monitoring *Solenopsis invicta* (Formicidae: Hymenoptera) in Taiwan [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2011, 46 (2): 165–169.
- 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.
- 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.
- Drees BM, Schofield K, Brown E, et al. Fire Ant Control: The Two – step Method and Other Approaches [M]. Texas: The Texas AgriLife Extension Service, 2008.
- Drees BM. Red imported fire ant predation on nestlings of colonial waterbirds [J]. *Southwestern Entomologist*, 1994, 19 (4): 355–360.
- Huang J, Lu YY, Zeng L, et al. Attraction effect comparison of different setting forms of bait for *Solenopsis invicta* [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2007, 28 (4): 23–25. [黄俊, 陆永跃, 曾玲, 等. 不同放置方式的诱饵对红火蚁的诱集作用比较 [J]. 华南农业大学学报, 2007, 28 (4): 23–25]
- Liang XS, Zhang Q, Zhuang YL, et al. Trapping techniques for *Solenopsis invicta* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (6): 1403–1406. [梁小松, 张强, 庄永林, 等. 红火蚁诱捕技术 [J]. 应用生态学报, 2007, 18 (6): 1403–1406]
- 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]. *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]
- Liu DY, Guo MF, Liao JC, et al. Preliminary study on some new methods on tentative feeding, trapping and counting of the red imported fire ant [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2007, 34 (1): 55–56, 59. [刘端云, 郭明昉, 廖金才, 等. 红火蚁饲养、诱集和计数方法初探 [J]. 广东农业科学, 2007, 34 (1): 55–56, 59]
- Lofgren CS, Banks WA, Glancey BM. Biology and control of imported fire ants [J]. *Annual Review of Entomology*, 1975, 20: 1–30.
- Lofgren CS. The economic importance and control of imported fire ants in the United States. In Vinson SB. Economic Impact and Control of Social Insects [C]. New York: Praeger Publishers, 1985: 227–256.
- Lu YY, Hou YM, Zeng L. Surveillance technology and method for *Solenopsis invicta* Buren. In Biological Invasion-inspection and Surveillance [M]. Beijing: Science Press, 2011: 446–464. [陆永跃, 侯有明, 曾玲. 红火蚁的监测技术与方法. 见: 生物入侵—检测与监测篇 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 446–464]
- Lu YY, Wang L, Xu YJ, et al. Correlation of the nest density and the number of workers in bait traps for fire ant (*Solenopsis invicta*) in southern China [J]. *Sociobiology*, 2012, 59 (3): 1197–1204.
- Lu YY, Xu YE, Zeng L, et al. Quantitative relations between red imported fire ant workers captured by bait trap and pitfall trap [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (4): 790–794. [陆永跃, 许益铸, 曾玲, 等. 应用诱饵诱集法和陷阱法收集的红火蚁工蚁数量间关系研究 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (4): 790–794]
- Lv LH, Feng X, Chen HY, et al. A technique for field collecting and laboratory rearing red imported fire ant *Solenopsis invicta* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2006, 52 (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, 52 (2): 265–267]
- Pinson CK, Ewig JD, Wangberg JK. Sampling technique for monitoring within mound distribution of the red imported fire ant [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1980, 73 (1): 111–112.
- Song ZD, Chen MY, Guan Y, et al. Mini app for red imported fire ant monitoring—red fire ant cloud collection [J]. *Agriculture and Technology*, 2022, 42 (20): 32–37. [宋侦东, 陈美云, 管云, 等. 用于红火蚁监测的小程序—红火蚁云采集 [J]. 农业与技术, 2022, 42 (20): 32–37]
- Stringer L, Suckling DM, Baird D, et al. Sampling efficacy for the red imported fire ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2011, 40 (5): 1276–1284.
- Vinson SB. Invasion of the red imported fire ant [J]. *American Entomologist*, 1997, 43 (1): 23–39.
- Wang FX, Wang L, Li XN, et al. Guidelines for quarantine surveillance of *Solenopsis invicta* Buren (GB/T 23626–2009) [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2009. [王福祥, 王琳, 李小妮, 等. 红火蚁疫情监测规程 (GB/T23626–2009) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009]
- Wen C, Wang YX, Feng Y, et al. A method and device for rapid monitoring of red fire ant occurrence: CN112640865A [P]. 2021–04–13. [文超, 王偲, 冯莹, 等. 一种快速监测红火蚁发生的方法及装置: CN112640865A [P]. 2021–04–13]
- Xu YJ, Lu YY, Zeng L, et al. Foraging behavior and recruitment of red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) in typical habitats of South China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (3): 855–861. [许益铸, 陆永跃, 曾玲, 等. 华南地区典型生境中红火蚁觅食行为及工蚁召集规律 [J]. 生态学报, 2007, 27 (3): 855–861]

- Yu W, Liu J, Zhang M, *et al.* Foraging population size is positively correlated with the body length of workers in the black-winged termite, *Odontotermes formosanus* (Isoptera: Termitidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2019, 62 (8): 987–992. [于炜, 刘锦, 张媚, 等. 黑翅土白蚁巢群觅食群体大小与工蚁体长呈正相关 [J]. 昆虫学报, 2019, 62 (8): 987–992]
- Zeng L, Lu YY, Chen ZN, *et al.* Surveillance and Management of Red Imported Fire Ant [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 2005. [曾玲, 陆永跃, 陈忠南, 等. 红火蚁监测与防治 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2005]
- Zhang SQ, Li ZQ, Li SL, *et al.* A method and device for monitoring red fire ants: CN113331148A [P]. 2021–09–03. [张森泉, 李志强, 李慎磊, 等. 一种红火蚁监测方法和装置: CN113331148A [P]. 2021–09–03]
- Zhu NH, Zheng SB, Zhang SL, *et al.* A method and system for monitoring red fire ants: CN113749068A [P]. 2021–12–07. [朱乃豪, 郑士彬, 张世龙, 等. 一种红火蚁监测方法及系统: CN113749068A [P]. 2021–12–07]