

咖啡果小蠹生物学特性及发生动态

刘卓凡^{1,2}, 孙世伟^{2,4*}, 孟 洋^{2,3}, 苟亚峰^{2,4}, 宋国敏^{1*}, 田 甜^{2,4}, 温思为^{2,4}

1. 云南农业大学植物保护学院, 云南昆明 650201; 2. 中国热带农业科学院香料饮料研究所, 海南万宁 571533; 3. 华中农业大学植物科学技术学院, 湖北武汉 430070; 4. 海南省热带香辛饮料作物遗传改良与品质调控重点实验室, 海南万宁 571533

摘 要: 咖啡果小蠹 (*Hypothenemus hampei*) 是近年来新入侵我国大陆的一种检疫性害虫, 对我国咖啡产业的健康发展具有巨大的潜在威胁。本研究旨在明确该虫的生物学特性及田间发生规律, 为后期开展监测预报和综合治理提供理论基础。在室内饲养条件[(26.5±1)℃, 相对湿度为 75%±5%, 光照 14L:10D]下, 观察咖啡果小蠹各龄期的形态特征、发育历期及繁殖能力, 并结合田间观察明确该虫的年生活史; 2021—2022 年通过田间系统调查, 分析该虫在海南省万宁市的发生动态规律及空间分布类型, 旨在明确该虫的生物学特性及田间发生规律, 为后续进行综合防治提供理论依据。结果表明: 咖啡果小蠹卵、幼虫、蛹和成虫的发育历期分别为(6.75±0.65)、(17.41±1.63)、(6.45±1.15)、(42.74±9.55)d, 平均世代历期为(73.35±11.26)d。各龄期主要形态特征为: 卵椭圆形, 乳白色, 表面光滑有光泽; 幼虫通常呈“C”字型, 乳白色, 略透明, 头部呈褐色, 无足; 蛹初期为乳白色, 后期变为褐色, 头部藏于前胸背板之下; 成虫体呈圆柱形, 暗褐色到黑色, 有光泽, 雄虫比雌虫小。雌成虫通常在黑暗条件下产卵, 单雌产卵量为(11.85±1.69)粒, 雌雄比为 10.25:0.95。室内和田间观察结果表明, 咖啡果小蠹在海南 1 年发生 7 代, 无明显越冬现象。2021—2022 年田间调查结果表明, 1 月开始咖啡果小蠹种群数量缓慢上升, 4—5 月咖啡果小蠹发生率呈暴增状态, 最高可达到 60.15%, 5 月升至顶峰后又急速下降, 6—10 月始终维持在相对稳定的水平, 11 月种群数量又呈增长状态, 出现一个小高峰, 达到 19.87%, 12 月有所下降但至次年 3 月均呈现缓慢增长态势, 咖啡果小蠹的发生率与上一年遗留的果实数量有关。对空间和方位的调查结果表明, 果实发育期内咖啡果小蠹在空间上偏好中层(0.5~1.0 m)果实, 在方位上偏好东和北 2 个方向, 可能与光照和温度有关。通过 4 种聚集度参数的结果显示, 咖啡果小蠹在水平方向和垂直方向均属于聚集分布。

关键词: 咖啡果小蠹; 形态特征; 发育历期; 生活史; 发生动态; 空间分布

中图分类号: S435.712

文献标志码: A

Biological Characteristics and Occurrence Dynamics of *Hypothenemus hampei* Ferrari

LIU Zhuofan^{1,2}, SUN Shiwei^{2,4*}, MENG Yang^{2,3}, GOU Yafeng^{2,4}, SONG Guomin^{1*}, TIAN Tian^{2,4}, WEN Siwei^{2,4}

1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; 2. Spice and Beverage Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wanning, Hainan 571533, China; 3. College of Plant Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China; 4. Hainan Provincial Key Laboratory of Genetic Improvement and Quality Regulation for Tropical Spice and Beverage Crops, Wanning, Hainan 571533, China

Abstract: *Hypothenemus hampei* is a new invasive pest in China. It is a main coffee pest and poses a great threat to the coffee industry. The purpose of this study is to clarify the biological characteristics and field occurrence rules of the insect, and to provide a theoretical basis for later monitoring and forecasting and comprehensive management of the insect. In this study, the morphological characteristics, developmental duration and fecundity of various developmental

收稿日期 2023-04-12; 修回日期 2023-05-23

基金项目 国家现代农业产业技术体系项目 (No. CARS-11); 农业农村部部门预算项目 (No. 15226014); 海南省重点研发计划项目 (No. ZDYF2020082)。

作者简介 刘卓凡 (1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农业昆虫与害虫防治。*通信作者 (Corresponding author): 孙世伟 (SUN Shiwei), E-mail: sunshw@126.com; 宋国敏 (SONG Guomin), E-mail: 979154738@qq.com。

stages of *H. hampei* were observed at each stage in the indoor feeding conditions. The annual life cycle of *H. hampei* was observed in the field. The population dynamics and spatial distribution patterns of *H. hampei* in Wanning city, Hainan province were measured through systematic field investigation from 2021 to 2022 to clarify the biological characteristics and field occurrence of *H. hampei*, and provide a theoretical basis for the subsequent integrated pest management of *H. hampei*. The results showed that the developmental duration of egg, larval, pupal and adult stage of *H. hampei* was (6.75 ± 0.65) d, (17.41 ± 1.63) d, (6.45 ± 1.15) d, (42.74 ± 9.55) d, respectively. The average generation duration was (73.35 ± 11.26) d. The main morphological characteristics of each stage were as follows: egg, elliptic, milky white, with smooth and shiny surface; larval, usually “C” shaped, milky white, slightly transparent, with brown head and no feet; pupal, milky white at the initial stage, and later turn brown, the head hidden under the pronotum; adult body, cylindrical, dark brown to black, shiny; male smaller than the female. Female adults usually laid eggs under dark conditions, the number of eggs laid by a single female was 11.85 ± 1.69 , and the ratio of male to female was 10.25 : 0.95. The results of indoor and field observations showed that *H. hampei* had seven generations a year in Hainan, and there was no phenomenon of overwintering. The results of the field survey in 2021—2022 showed that the population of *H. hampei* began to increase slowly from January, and the incidence of *H. hampei* increased sharply from April to May, reached a maximum of 60.15% and peak in May, and then declined rapidly. In October, it remained at a relatively stable level. The population increased again in November, with another small peak, reaching 19.87%. In December, it decreased, but it showed a slow increase until March of the following year related to the number of fruits. The survey results on space and orientation showed that during the fruit development period, *H. hampei* preferred the middle layer (0.5–1.0 m) fruit spatially, and preferred the east and north directions in orientation, which may be related to light and temperature. The results of the four aggregation parameters showed that *H. hampei* belonged to the aggregation distribution in both horizontal and vertical directions.

Keywords: *Hypothenemus hampei*; morphological characteristics; developmental duration; life cycle; occurrence dynamics; spatial distribution

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.06.020

咖啡果小蠹 (*Hypothenemus hampei* Ferrari) 属鞘翅目 (Coleoptera) 象虫科 (Curculionidae) 小蠹亚科 (Scolytinae), 广泛分布于全球 70 多个咖啡种植国家和地区, 是为害世界咖啡生产最严重的害虫^[1-3]。其雌虫通过钻蛀咖啡果实, 产卵于胚乳中, 幼虫孵出后在果实内取食, 使果实内部变黑腐烂, 导致果实发育不良, 从而造成咖啡产量和品质下降^[4-6]。2019 年在海南省万宁市首次发现咖啡果小蠹入侵为害, 给当地咖啡产业造成严重的经济损失^[7]。国外已有对咖啡果小蠹的研究, 但不同国家或地区咖啡果小蠹种群的生命周期、发生代数存在较大差异, 如咖啡果小蠹在印度尼西亚的平均生命周期为 25 d^[8], 在科特迪瓦的平均生命周期为 40.5 d, 在刚果民主共和国的平均生命周期为 36 d^[9]; 在坦桑尼亚 1 年发生 2~4 代, 在哥伦比亚 1 年发生 3~4 代, 在肯尼亚 1 年 2~3 代, 在埃塞俄比亚 1 年发生 0~2 代^[10]。目前我国关于咖啡果小蠹的研究主要集中在海关检疫方面^[11-12], 对该虫在新入侵地区的生物学特性和发生动态尚不明确。本研究系统研究咖啡果小蠹各龄期的形态特征、发育历期和繁殖能力, 并在

田间调查该虫的发生动态, 确定该虫的空间分布类型, 以期对咖啡果小蠹的监测预报和综合防控提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

咖啡果小蠹采自海南省万宁市中国热带农业科学院香料饮料研究所的咖啡种植试验地 ($18^{\circ}44'10''\text{N}$, $110^{\circ}11'47''\text{E}$), 采集试验地内咖啡树上已有咖啡果小蠹为害的咖啡果, 带回实验室解剖, 将获得的卵、幼虫、蛹、成虫按照不同虫态置于人工饲料中进行饲养, 卵、幼虫、蛹分别集中饲养, 每只雌成虫单独饲养, 饲养盒置于人工气候箱, 饲养条件: 温度为 $(26.5 \pm 1.0)^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $75\% \pm 5\%$, 光周期为 14L : 10D。

1.2 方法

1.2.1 形态特征观察 从室内种群中挑取卵、幼虫、蛹、成虫等不同虫态, 在 Olympus SZX16 体视显微镜下观察其形态特征, 并测量体长、头宽等, 每个虫态 25 个重复。

1.2.2 生命周期观察 选取 20 只单独饲养的受

精雌成虫, 从其产卵当天开始, 每 24 h 记录 1 次产卵量; 将每只受精雌成虫产出的卵单独放在一盒人工饲料内, 每 24 h 记录 1 次幼虫孵化和存活情况; 幼虫化蛹后, 将蛹单独放置, 每 24 h 记录羽化情况; 蛹羽化成成虫后, 按性别区分, 分别将雌、雄成虫置于饲料盒内, 记录成虫存活时间。

1.2.3 发生动态调查 2021 年 1 月—2022 年 12 月, 在海南省万宁市中国热带农业科学院香料饮料研究所的咖啡种植试验地进行试验, 调查时间为 2 年。选取试验地内 3 块中粒种咖啡种植地, 采取五点取样法进行取样调查, 每地块每点选取 1 株咖啡树进行标记, 每株咖啡树上分别在空间上分上(1.0~1.5 m)、中(0.5~1.0 m)、下(0~0.5 m) 3 层, 在方位上分为东、西、南、北 4 个方向进行标记, 每株咖啡树共选取 12 根枝条, 共 180 根枝条, 记录每根枝条上的咖啡果实粒数和有虫孔粒数, 计算发生率, 发生率=(有虫孔粒数/咖啡果实总粒数)×100%。为探究残留果实对发生率的影响, 田间 1、2 号地设置为实验组, 3 号地为空白对照, 2021 年, 1 号、2 号和 3 号咖啡种植地均采用人工采收方式进行采收, 2022 年, 1 号和 2 号地采取不采收方式, 3 号地维持人工采收方式, 3 块咖啡种植地均不施用农药, 减少人为因素造成的误差。

1.2.4 年生活史调查 2021 年 1 月—2022 年 12 月, 结合室内饲养, 在海南省万宁市中国热带农业科学院香料饮料研究所咖啡种植试验地对咖啡果小蠹年生活史进行观察。选择受咖啡果小蠹为害严重的咖啡地作为调查样地, 每 15 d 调查 1 次, 在样地内按五点取样法设置 5 个小区, 每个小区随机选取 3 株咖啡树, 每株咖啡树采集 5 颗被害果实, 将采集的果实带回实验室解剖, 记录每颗果实内咖啡果小蠹的虫态与数量。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 软件记录试验数据, 用 SPSS 25.0 软件对试验数据进行单因素方差分析, 采用独立样本 *t* 检验法进行差异显著性检验 ($P < 0.05$)。为了确定咖啡果小蠹的空间分布类型, 使用以下公式进行统计分析:

$$\hat{m} = \frac{\sum x}{n}$$

$$S^2 = \frac{\sum (x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}$$

$$I = \frac{S^2}{\hat{m}}$$

式中, n 为采集的样本数量, x 为被害果实数, $\hat{m}$ 为平均值, S^2 为方差, I 为方差/平均值。如果 $I=1$, 表示随机分布; $I < 1$, 表示均匀分布; $I > 1$, 表示聚集分布。

$$I_\sigma = \frac{n(\sum x^2 - \sum x)}{(\sum x)^2 - \sum x}$$

式中, I_σ 为 Morisita 指数, n 为采集的样本数量, x 为被害果实数。如果 $I_\sigma=1$, 表示随机分布; $I_\sigma < 1$, 表示均匀分布; $I_\sigma > 1$, 表示聚集分布。

$$C_x = \frac{\frac{S^2}{\hat{m}} - 1}{\sum x - 1}$$

式中, C_x 为格林系数, x 为被害果实数, $\hat{m}$ 为平均值, S^2 为方差。如果 C_x 在 0~1 之间, 越接近 1 则表示受害程度越大。

$$k = \frac{\hat{m}}{S^2 - \hat{m}}$$

式中, k 为负二项分布指数, $\hat{m}$ 为平均值, S^2 为方差。如果 $k < 2$, 表示高度聚集; $2 \leq k \leq 8$, 表示适度聚集; $k > 8$, 表示随机分布。

2 结果与分析

2.1 咖啡果小蠹形态特征

卵: 椭圆形, 乳白色, 表面光滑有光泽 (图 1A), 长(0.61±0.40)mm (表 1)。雌成虫不规则成堆产卵, 初产卵略透明, 后从中间向一侧变白逐渐扩散至另一侧。

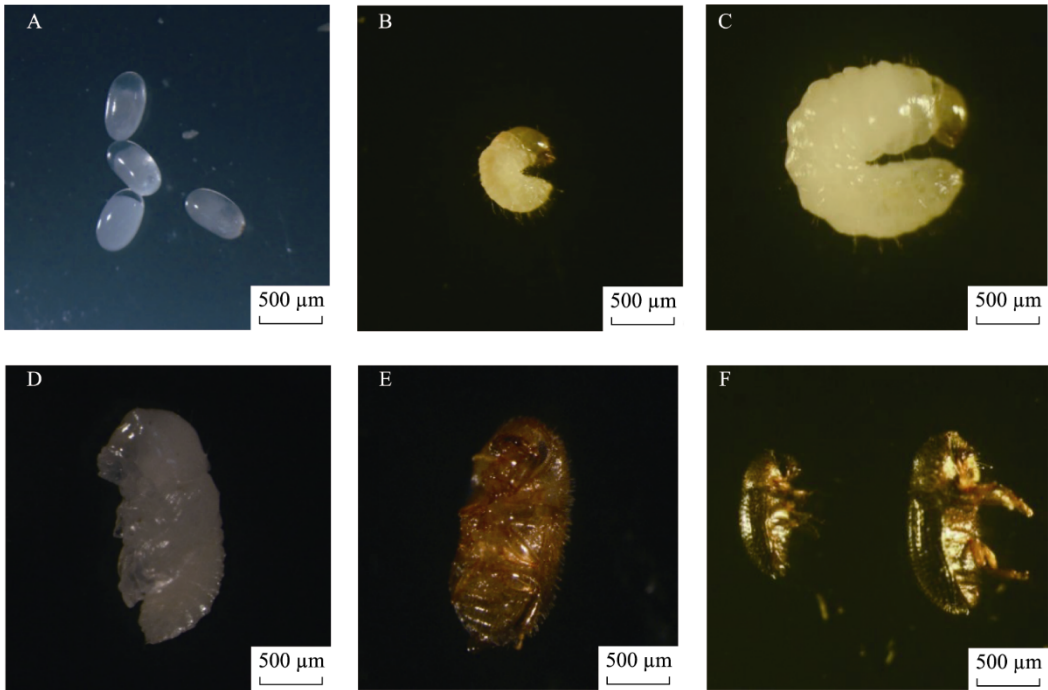
幼虫: 共 2 个龄期, 通常呈“C”字型, 乳白色, 略透明, 头部呈褐色, 无足, 头上和身体两侧覆盖白色硬毛, 口器突出。1 龄幼虫 (图 1B) 体长(1.13±0.17)mm, 头宽(0.22±0.02)mm; 2 龄幼虫 (图 1C) 体肥多皱, 体长(1.71±0.20)mm, 头宽(0.30±0.02)mm。2 个龄期幼虫的体长和头宽均存在显著差异 ($P < 0.05$, 表 1)。

蛹: 初期为乳白色, 后期变为褐色, 头部藏于前胸背板之下, 背板边缘有 3~10 个彼此分开的乳头状突起, 每个突起有 1 根白色刚毛, 腹部有 2 根较小的白色针状突起 (图 1D, 图 1E)。蛹长(1.76±0.56)mm (表 1)。

成虫: 体呈圆柱形, 暗褐色到黑色, 有光泽。

雄虫比雌虫小。头部藏于前胸背板下，有蚕豆形复眼。头背中央具一条深陷的中纵沟，延伸额面，有细网状的多皱额面。前胸较为发达，有密集鳞片，背板弓凸。前胸背板前缘中部有 4~6 枚细小的瘤状突起，瘤区有 4~5 列瘤，第 1 列粗大，第 2 列后逐渐缩小，至最后一列连成弧列。鞘翅基部肩角处有明显突起，而且光滑。鞘翅上有 8~9 列刻点沟，刻点沟宽阔，其中刻点圆、大而规则，

沟间部略凸起，上面的刻点细小，不易分辨，沟间部刚毛狭长，其长度至少是宽度的 8 倍以上。雌虫刚毛列间的距离等于刚毛长度，同列刚毛间的距离稍短于刚毛长度，雄虫刚毛间距离相对较长。腹部共 4 节，末端较尖（图 1F）。雌成虫体长(1.56±0.75)mm，头宽(0.39±0.01)mm；雄虫体长(1.04±0.06)mm，头宽(0.30±0.16)mm。雌雄虫体长和头宽均差异显著（ $P<0.05$ ）（表 1）。



A: 卵；B: 1 龄幼虫；C: 2 龄幼虫；D: 蛹；E: 未性成熟成虫；F: 性成熟雄（左）、雌（右）成虫。
A: Egg; B: 1st instar larva; C: 2nd instar larva; D: Pupa; E: Sexually immature adult; F: Sexually mature male (left) and female (right) adult.

图 1 咖啡果小蠹各虫态

Fig. 1 Various development stages of *H. hampei*

表 1 咖啡果小蠹各虫态的基本生物学参数
Tab. 1 Basic biological parameters of various developmental stages of *H. hampei*

发育阶段 Development stage	体长 Body length/mm	头宽 Head width/mm
卵	0.61±0.40	
幼虫		
1 龄	1.13±0.17 ^a	0.22±0.02 ^a
2 龄	1.71±0.20 ^b	0.30±0.02 ^b
蛹	1.76±0.56	
成虫		
雌成虫	1.56±0.75 ^a	0.39±0.01 ^a
雄成虫	1.04±0.06 ^b	0.30±0.16 ^b

注：同一虫态同列数据后不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same insect state and column data indicate significant difference ($P<0.05$).

2.2 咖啡果小蠹繁殖能力与发育历期

2.2.1 繁殖能力 咖啡果小蠹通常在黑暗条件下产卵，每只雌成虫产卵量为(11.85±1.69)粒，卵孵化率为 94.86%±0.05%，雌、雄比为 10.25 : 0.95。
2.2.2 发育历期 咖啡果小蠹个体发育经历卵、1 龄幼虫、2 龄幼虫、蛹和成虫等阶段。在室内饲养条件下，各阶段发育历期分别为：卵期(6.75±0.65)d，幼虫期(17.41±1.63)d，蛹期(6.45±1.15)d，成虫期(42.74±9.55)d，平均世代历期为(73.35± 11.26)d。其中，雌成虫历期(44.06±8.95)d 显著长于雄成虫(29.50±3.27)d（表 2）。

2.3 咖啡果小蠹发生动态与年生活史

2.3.1 咖啡果小蠹年发生动态 2021—2022 年在海南兴隆地区系统调查了咖啡果小蠹的田间种

表 2 咖啡果小蠹各虫态发育历期
Tab. 2 Duration of different developmental stages of *H. hampei*

发育阶段 Development stage	历期 Duration/d	
	平均值±标准差 Mean±SD	范围 Range
卵	6.75±0.65	6~8
幼虫	17.41±1.63	16~21
蛹	6.45±1.15	5~8
成虫	♀ 44.06±8.95 ^a	29~69
	♂ 29.50±3.27 ^b	24~35
平均世代历期	73.35±11.26	56~106

注：同一虫态同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same insect state and column data indicate significant difference ($P < 0.05$).

群发生动态, 结果表明, 2022 年咖啡果小蠹的平均发生率高于 2021 年, 但整体趋势均为从 1 月上旬开始咖啡果小蠹种群数量缓慢上升, 4 月上旬至 5 月上旬咖啡果小蠹发生率呈暴增状态, 最高可达到 60.15%, 5 月上旬升至峰值后又急速下降, 降至 6.69%, 6—10 月始终维持在一个相对稳定的水平, 11 月种群又呈增长状态, 出现一个小高峰, 达到 19.87%, 12 月发生率有所下降, 但至次年 3 月下旬均呈缓慢增长状态 (图 2)。咖啡果小蠹的发生率 1 年中有 2 个高峰期, 分别在 5 月和 11 月, 其中 5 月由于成熟的咖啡果实数量稀少导致聚集性侵害, 发生率暴增但总体数量不多; 11 月由于新一轮咖啡果实的成熟导致种群数量迅速增长, 总体数量呈上升趋势。

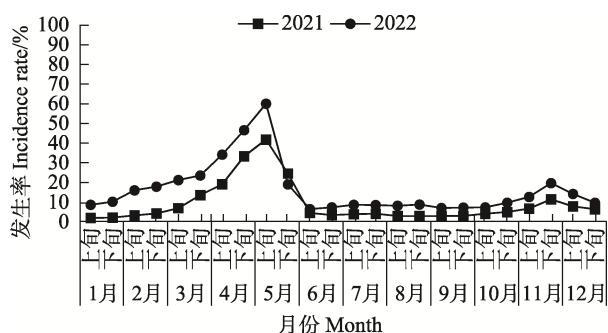


图 2 2021—2022 年海南兴隆咖啡果小蠹的田间发生动态

Fig. 2 Field population dynamics of *H. hampei* in Xinglong, Hainan from 2021 to 2022

2.3.2 不同地块咖啡果小蠹的发生动态 研究表明, 3 块种植地内咖啡果小蠹的发生动态相同, 与年发生动态基本一致。2022 年 1 号、2 号地的发生高峰明显高于 2021 年, 但与 2021 年相比, 2022 年 3 号地的发生高峰呈下降趋势; 2022 年不

采收的 1 号、2 号地块咖啡果小蠹的平均发生率明显高于人工采收的 3 号地块, 而 2022 年人工采收的 3 号地块其发生率无明显变化 (图 3)。

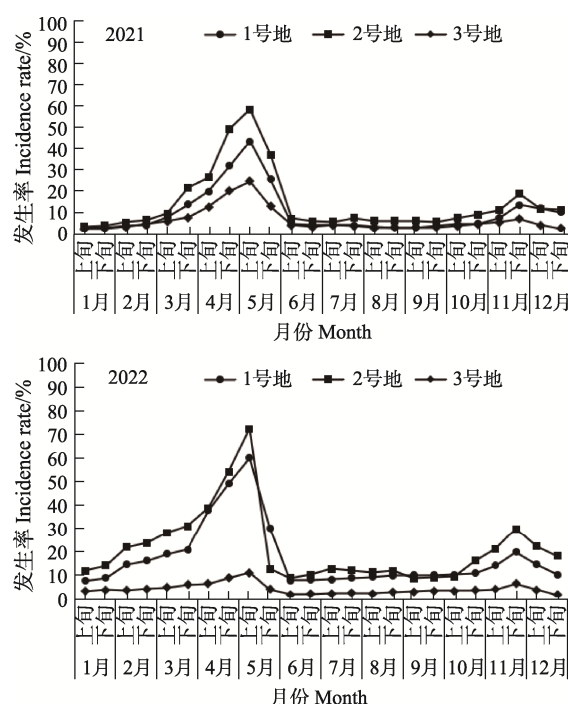


图 3 2021、2022 年不同地块咖啡果小蠹的发生动态
Fig. 3 Population dynamics of *H. hampei* in three different plots in 2021 and 2022

2.3.3 咖啡果小蠹各虫态种群动态 咖啡果小蠹成虫和幼虫全年均有发生, 成虫种群数量在大多数时间是最多的, 1—4 月缓慢增长, 4—5 月急速增至 147 头, 6 月又迅速下降并逐渐变缓, 直至 11 月上旬又出现一个小高峰, 达到 84 头, 1 年内存在 2 个高峰, 且变化趋势与发生率相似。幼虫全年的种群数量呈波浪形波动, 种群数量在 4 月达到最高, 为 56 头; 蛹期种群动态较为平稳, 无明显高峰; 卵期在 4 月下旬至 6 月上旬并未发生, 在 10 月达到最高, 为 71 个 (图 4)。

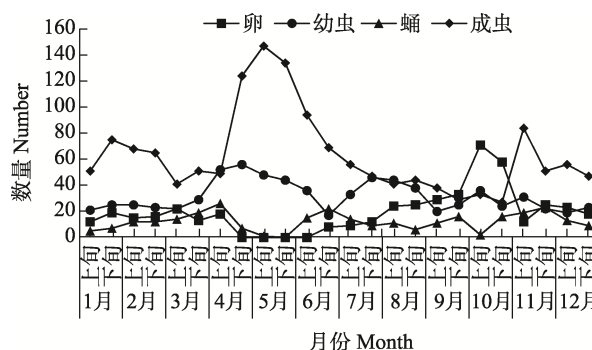


图 4 咖啡果小蠹不同虫态的发生动态
Fig. 4 Occurrence dynamics of different stages of *H. hampei*

2.3.4 咖啡果小蠹年生活史 根据室内饲养和室外观察结果表明，在海南兴隆地区，咖啡果小蠹每年发生 7 代，世代重叠，全年均可为害咖啡果实，无明显的越冬现象。第 1 代为 4 月中旬至 7 月中旬，第 2 代为 7 月上旬至 8 月下旬，第 3 代为 8 月中旬至 10 月中旬，第 4 代为 9 月下旬至 12 月中旬，第 5 代为 11 月下旬至 2 月上旬，第 6 代为 1 月中旬至 3 月中旬，第 7 代为 2 月下旬至 4 月下旬（表 3）。

2.3.5 咖啡果小蠹的空间分布 在水平方向上，

咖啡果小蠹种群在东面的平均占比为 33.4%，在北面的平均占比为 28.1%，在南面的平均占比为 22.5%，在西面的平均占比为 16.0%。咖啡果小蠹最喜钻蛀东面方位的果实，其次是北面方位的果实（图 5）。在垂直方向上，咖啡果小蠹对中层高度的果实为害表现尤为突出，平均占比为 47.6%，其次是上层高度的果实，平均占比为 35.2%，对下层的果实不敏感，平均占比仅为 17.2%（图 6）。

咖啡果小蠹水平方向的种群参数见表 4，8—12 月的方差/均值（ I ）、Morisita 指数（ I_{σ} ）均

表 3 咖啡果小蠹在海南兴隆的年生活史

Tab. 3 Annual life history of *H. hampei* in Xinglong, Hainan

世代 Generation	1 月 Jan.			2 月 Feb.			3 月 Mar.			4 月 Apr.			5 月 May			6 月 Jun.			7 月 Jul.			8 月 Aug.			9 月 Sep.			10 月 Oct.			11 月 Nov.			12 月 Dec.		
	F M L			F M L			F M L			F M L			F M L			F M L			F M L			F M L			F M L			F M L			F M L			F M L		
第 6 代	□ □			+ + +			○ ○			- - -																										
第 7 代				□ □			+ + +			○ ○			- - -																							
第 1 代							□ □ □			+ + + + + +			○ ○			- -			□ □			+ +			○ ○			- -								
第 2 代																□ □			+ +			○ ○			- -											
第 3 代																									□ □			+ +			○ ○			- -		
第 4 代																									□ □			+ +			○ ○			- - -		
第 5 代																															□ □			+ + +		
																																		○ ○		
																																		- - -		

注：F 为上旬；M 为中旬；L 为下旬。○ 为卵；+ 为成虫；- 为幼虫；□ 为蛹。

Note: F is the first ten-day period of a month; M is the middle ten-day period of a month; L is the last ten-day period of a month. ○ is egg; + is adult; - is larva; □ is pupa.

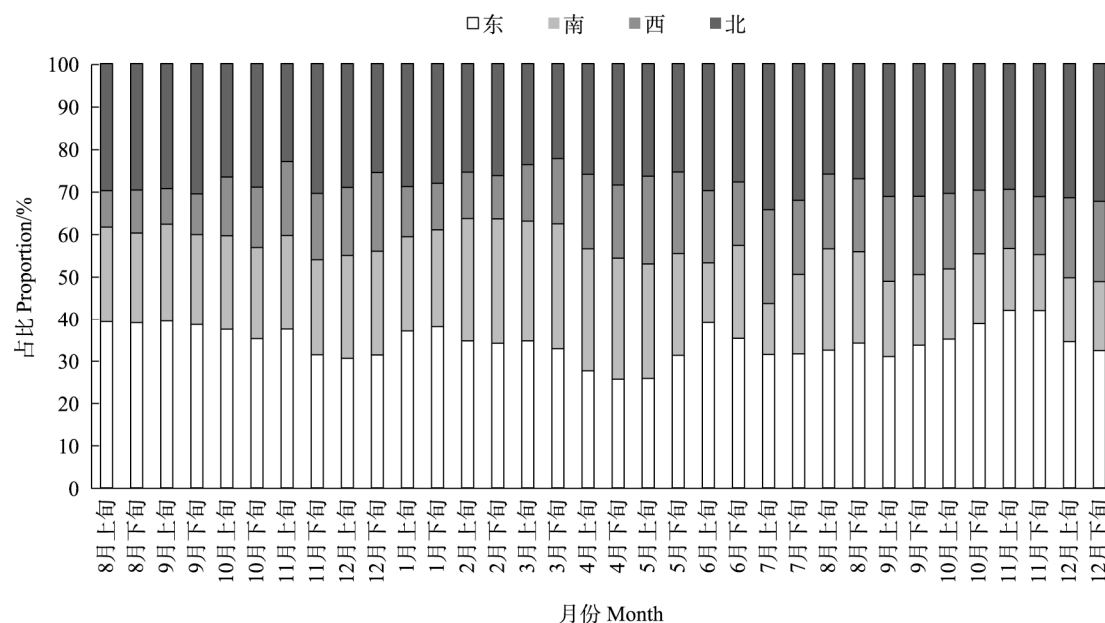


图 5 咖啡果小蠹在不同方位的发生情况
Fig. 5 Occurrence of *H. hampei* in different directions

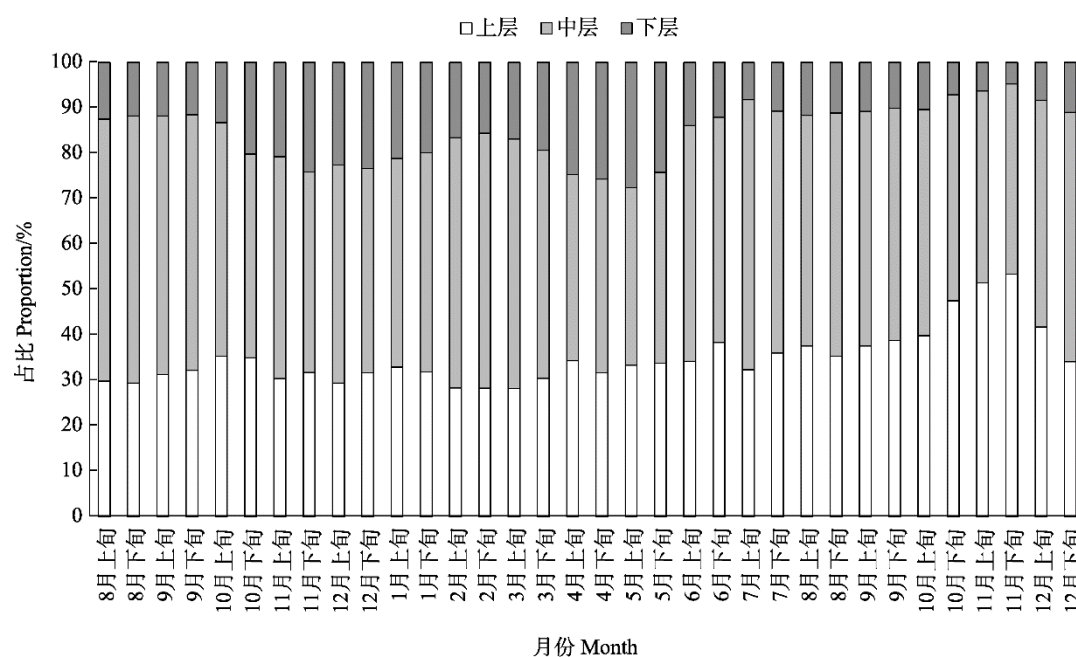


图 6 咖啡果小蠹在不同空间的发生情况
Fig. 6 Occurrence of *H. hampei* in different spaces

大于 1, 表明咖啡果小蠹的分布是聚集的, 负二项分布指数 (k) 小于 2, 说明咖啡果小蠹种群高度聚集, 格林系数 (C_x) 趋近于 0, 说明受害程度不高。咖啡果小蠹垂直方向的种群参数见表 5, 咖啡果小蠹更倾向于在中层为害, 其次是上层。从垂直方向的参数可以看出, 上层、中层、下层与水平方向的参数趋于一致, 因此咖啡果小蠹种群在垂直方向上符合聚集分布。

3 讨论

昆虫生长发育过程受诸多因素影响。有研究表明, 咖啡果小蠹的生长发育受温度和湿度影响, 例如在 26 °C 条件下, 咖啡果小蠹的生命周期约为 30 d, 而在 23~24 °C 范围内, 生命周期约为 42~49 d^[13], 在温度为 30 °C 时其发育速度更快, 而高于该温度时发育速度将变缓^[14]; 湿度在 60% 以下或 90% 以上时咖啡果小蠹的存活率有所下降^[15]。

表 4 2021—2022 年咖啡果小蠹水平方向的种群参数
Tab. 4 Horizontal distribution parameters of *H. hampei* from 2021 to 2022

参数 Parameter	2021.08	2021.09	2021.10	2021.11	2021.12	2022.08	2022.09	2022.10	2022.11	2022.12
$\bar{m}$	119.83	120.67	179.33	349.00	276.50	127.67	139.50	181.83	258.00	122.17
S^2	1443.77	898.67	2040.67	17 008.00	15 389.90	8549.47	6414.3	10 865.77	22 973.20	7541.37
I	12.05	7.45	11.38	48.74	55.66	66.97	45.98	59.76	89.04	61.73
I_σ	1.08	1.04	1.05	1.11	1.16	1.43	1.27	1.27	1.28	1.41
C_x	0.0154	0.0089	0.0097	0.0228	0.0329	0.0862	0.0538	0.0539	0.0569	0.0830
k	0.091	0.155	0.096	0.021	0.018	0.015	0.022	0.017	0.011	0.016

表 5 2021—2022 年咖啡果小蠹垂直方向的种群参数
Tab. 5 Vertical distribution parameters of *H. hampei* from 2021 to 2022

参数 Parameter	2021.08			2021.09			2021.10			2021.11			2021.12		
	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer
$\bar{m}$	35.50	69.83	14.50	38.33	68.33	14.00	63.17	86.00	30.17	109.17	160.67	79.17	84.17	129.00	63.33
S^2	277.90	534.17	58.70	194.27	377.47	56.80	190.17	475.60	312.57	1665.37	3401.47	1570.97	1531.77	3511.60	688.67
I	7.83	7.65	4.05	5.07	5.52	4.06	3.01	5.53	10.36	15.26	21.17	19.84	18.20	27.22	10.87
I_σ	1.16	1.08	1.18	1.09	1.06	1.18	1.03	1.04	1.26	1.11	1.10	1.19	1.17	1.17	1.13
C_x	0.0322	0.0159	0.0354	0.0178	0.0111	0.0368	0.0053	0.0088	0.0520	0.0218	0.0209	0.0398	0.0341	0.0339	0.0261
k	0.146	0.150	0.328	0.246	0.221	0.327	0.497	0.221	0.107	0.070	0.050	0.005	0.058	0.038	0.101
参数 Parameter	2022.08			2022.09			2022.10			2022.11			2022.12		
	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer
$\bar{m}$	46.50	66.67	14.50	53.33	71.67	14.50	80.00	86.17	15.67	112.00	129.50	16.50	53.83	55.33	13.00
S^2	1945.10	1924.67	130.30	1791.47	1807.07	47.90	4257.20	2138.17	67.47	4587.60	6417.50	64.30	1656.57	1867.47	26.80
I	41.83	28.87	8.99	33.59	25.21	3.30	53.21	24.81	4.31	40.96	49.56	3.90	30.77	33.75	2.06
I_σ	1.73	1.35	1.46	1.51	1.28	1.33	1.55	1.23	1.18	1.30	1.31	1.15	1.46	1.49	1.07
C_x	0.1469	0.0698	0.0929	0.1022	0.0564	0.0268	0.1090	0.0462	0.0356	0.0596	0.0626	0.0296	0.0925	0.0989	0.0138
k	0.024	0.036	0.125	0.031	0.041	0.434	0.019	0.042	0.302	0.025	0.021	0.345	0.034	0.031	0.942

本研究中咖啡果小蠹体长等基本生物学参数与其他国家中的研究结果^[16-18]无明显差异，但我国海南地区咖啡果小蠹的平均世代历期为(73.35±11.26)d，每年可发生 7 代，这与其他国家的咖啡果小蠹有所不同，如在科特迪瓦每年平均发生 9 代，在哥伦比亚每年可发生 3~4 代^[9]，GIORDANENGO 等^[19]研究发现在新喀里多尼亚每年发生 4~5 代。咖啡果小蠹在不同国家的发生代数不同，可能与不同国家之间的地理位置、环境条件、种植模式的差异有关。咖啡种植区所处的环境温度和湿度不同，导致咖啡果小蠹的发育历期、发生代数存在差异，但这种差异都是昆虫在不同环境下为达到最大适应值所产生的。本研究得出咖啡果小蠹雌、雄比为 10.25 : 0.95。已有研究发现，不同国家或地区的咖啡果小蠹雌、雄

比不同，如在马来西亚雌雄比为 13 : 1^[20]，在肯尼亚雌雄比为 8.8 : 1.2^[21]，在爪哇雌雄比可以达到 40 : 1^[18]。VEGA 等^[22]研究发现，咖啡果小蠹体内存在的沃尔巴克氏菌(*Wolbachia*)是影响雌、雄比的因素之一。

OLIVEIRA 等^[23]对巴西塞拉多地区的咖啡果小蠹进行了为期 1 年的发生动态观测，结果显示，有 18.6% 的咖啡果实受咖啡果小蠹的为害，7 月发生率最高，达到 33.2%，该虫的种群数量在旱季达到最大值。魏绍华等^[24]在台湾省嘉义市调查了咖啡果小蠹的发生动态，结果表明，全年有 2 个种群高峰，分别是 4—5 月和 11—12 月，这与本研究结果一致。表明同一纬度地区咖啡果小蠹的发生可能存在相似情况。各虫态的种群动态研究结果表明，卵期的种群数量在 10 月上旬达到最高，

可能是为 11 月果实成熟期繁殖做准备,成虫的种群动态趋势与发生率趋势相似,说明成虫是为害咖啡果实的主要虫态。通过研究不同水平方向和不同垂直空间咖啡果小蠹的发生情况,发现咖啡果小蠹在水平方向上喜好钻蛀东面和北面的果实,在垂直空间上喜好中上层果实。这可能与光照、温度有关,更高的高度受日照影响可以更好地获取适宜自身的温度。这种偏好性可以用于诱捕咖啡果小蠹, RUIZ-DIAZ 等^[25]研究发现,诱捕器挂在距离地面 0.5 m 处的诱捕效果最佳,本研究不同垂直方向上的发生率结果表明,咖啡果小蠹更倾向中层(0.5~1.0 m)为害。田间常见害虫的分布类型有均匀分布、随机分布和聚集分布 3 种类型^[26]。WIRYADIPUTRA^[27]测定了印度尼西亚咖啡果小蠹的分布模式,结果表明,咖啡果小蠹遵循聚集分布模式;PULAKKATU-THODI 等^[28]使用 RVS 软件(Resampling for Validation of Sampling Plans)对咖啡果小蠹侵染为害的咖啡枝条进行抽样建模,结果表明,咖啡果小蠹在夏威夷地区呈聚集分布。本研究使用方差/均值(I')、Morisita 指数(I_m)、格林系数(C_x)和二项分布指数(k)等参数评估咖啡果小蠹的分布模式,这些参数均可以反映昆虫在空间的聚集程度。海南地区的咖啡果实 8—12 月逐渐饱满并陆续成熟,对咖啡果小蠹更加具有吸引作用,使该虫种群大量增长,因此选取该时间段进行分布模式研究更易获取准确的分布模式。本研究结果显示,咖啡果小蠹的水平分布模式均属于聚集分布,根据该类型分布特点可优化抽样统计方法分析该虫的田间种群密度及分布规律,为开展科学监测和制定综合防治措施提供依据,具有一定的应用价值。

为探究残留果实对咖啡果小蠹发生率的影响,在 3 块田间地段进行对照试验,第 1 年在 1、2 号地进行人工采摘,第 2 年模拟自然情况不采摘,3 号地作为空白对照观测 2 年的人工采摘是否影响咖啡果小蠹的发生率,结果表明,残留的成熟果实增多导致次年咖啡果小蠹的发生率显著增长。咖啡果实采收结束后,地上残留一些自然脱落或因人工采摘掉落的果实,这些果实成为咖啡果小蠹的食物来源和繁殖场所。MIGUEL 等^[29]对咖啡果小蠹在残留咖啡果实内的存活时间进行统计,发现该虫在 140 d 后仍可从残留果实内爬出继续为害植株上的新鲜果实。PEREIRA 等^[30]的研究表明,植株和地面上残留的果实数量与次年咖啡果

小蠹的种群数量呈正相关。因此,在人工采收咖啡果实的过程中应注意是否存在遗漏,这些遗留的果实是影响第 2 年咖啡果小蠹发生程度的关键。在综合防治过程中,应注意采收后及时清理残留于地面的落果和树上的僵果,减少驻留在果实中的咖啡果小蠹数量。

参考文献

- [1] NAVARRO-ESCALANTE L, HERNANDEZ-HERNANDEZ E M, NUNEZ J, ACEVEDO F E, BERRIO A, CONSTANTINO L M, PADILLA-HURTADO B E, MOLINA D, GONGORA C, ACUNA R, STUART J, BENAVIDES P. A coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) genome assembly reveals a reduced chemosensory receptor gene repertoire and male-specific genome sequences[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 1-17.
- [2] 赵龙章. 咖啡果小蠹[J]. 植物检疫, 1986(3): 52.
ZHAO L Z. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*)[J]. Plant Quarantine, 1986(3): 52. (in Chinese)
- [3] JOHNSON M A, RUIZ-DIAZ C P, MANOUKIS N C, VERLE RODRIGUES J C. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*), a global pest of coffee: perspectives from historical and recent invasions, and future priorities[J]. Insects, 2020, 11(12): 1-35.
- [4] DAMON A. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae)[J]. Bulletin of Entomological Research, 2000, 90(6): 453-465.
- [5] 刘昌芬. 咖啡果小蠹的生物生态学及其防治[J]. 云南热作科技, 1995(2): 42-45.
LIU C F. Bioecology and control of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*)[J]. Journal of Yunnan Tropical Crops Science & Technology, 1995(2): 42-45. (in Chinese)
- [6] DUFOUR B P, KERANA I W, RIBEYRE F. Population dynamics of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) according to the phenology of *Coffea arabica* L. in equatorial conditions of North Sumatra[J]. Crop Protection, 2021, 146: 9.
- [7] SUN S W, WANG Z, LIU A Q, LAI S C, WANG J G, MENG Q Q, GOU Y F, JOHNSON A J, LI Y. First record of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) on Hainan island, China[J]. The Coleopterists Bulletin, 2020, 74(4): 710-713.
- [8] LEEFMANS S. The coffee berry borer. II. Control[M]//The review of applied entomology, Series A: Agricultural, Buitenzorg, 1923, 11: 236-237.
- [9] VEGA F E, INFANTE F, JOHNSON A J. The genus *Hypothenemus*, with emphasis on *H. hampei*, the coffee berry borer[M]//VEGA F E, HOFSTETTER R, Bark beetles:

- biology and ecology of native and invasive species. San Diego, CA: Academic Press, 2015: 427-494.
- [10] JARAMILLO J, CHABI-OLAYE A, KAMONJO C, JARAMILLO A, VEGA F E, POEHLING H M, BORGEMEISTER C. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: predictions of climate change impact on a tropical insect pest[J]. PLoS One, 2009, 4(8): e6487.
- [11] 李捷, 庄艳辉. 珠海局截获咖啡果小蠹[J]. 植物检疫, 2000(5): 286.
LI J, ZHUANG Y H. Zhuhai Bureau intercepts coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*)[J]. Plant Quarantine, 2000(5): 286. (in Chinese)
- [12] 龚秀泽. 从进口越南咖啡豆中截获咖啡果小蠹[J]. 植物检疫, 2000(5): 283.
GONG X Z. Interception of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) from imported Vietnamese coffee beans[J]. Plant Quarantine, 2000(5): 283. (in Chinese)
- [13] BAKER P S, BARRERA J F, RIVAS A. Life-history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico[J]. Journal of Applied Ecology, 1992, 29(3): 656-662.
- [14] GIRALDO-JARAMILLO M, GARCIA A G, PARRA J R. Biology, thermal requirements, and estimation of the number of generations of *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) in the State of São Paulo, Brazil[J]. Journal of Economic Entomology, 2018, 111(5): 2192-2200.
- [15] BAKER P S, LEY C, BALBUENA R, BARRERA J F. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries[J]. Bulletin of Entomological Research, 1992, 82(2): 145-150.
- [16] HARGREAVES H. Notes on the coffee berry-borer (*Stephanoderes hampei*, Ferr.) in Uganda[J]. Bulletin of Entomological Research, 1926, 16(4): 347-354.
- [17] HARGREAVES H. *Stephanoderes hampei* Ferr., coffee berry-borer, in Uganda[J]. The East African Agricultural Journal, 1935, 1(3): 218-224.
- [18] LEEFMANS S. The coffee berry borer, *S. hampei*. I. Life history and ecology[J]. Meded. Inst. Plantenzieken, 1923, 57: 61-67.
- [19] GIORDANENGO P, BRUN L O, FREROT B. Evidence for allelochemical attraction of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, by coffee berries[J]. Journal of Chemical Ecology, 1993, 19: 763-769.
- [20] CORBETT G H. Some preliminary observations on the coffee berry beetle borer, *Stephanoderes* (Cryphalus) *hampei* Ferr[J]. Malayan Agricultural Journal, 1933, 21(1): 8-22.
- [21] JARAMILLO J, CHABI-OLAYE A, POEHLING H M, KAMONJO C, BORGEMEISTER C. Development of an improved laboratory production technique for the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, using fresh coffee berries[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2009, 130(3): 275-281.
- [22] VEGA F E, BENAVIDES P, STUART J A, O'NEILL S L. Wolbachia infection in the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae)[J]. Annals of the Entomological Society of America, 2002, 95(3): 374-378.
- [23] OLIVEIRA C M, SANTOS M J, AMABILE R F, FRIZZAS M R, BARTHOLO G F. Coffee berry borer in conilon coffee in the Brazilian Cerrado: an ancient pest in a new environment[J]. Bulletin of Entomological Research, 2018, 108(1): 101-107.
- [24] 魏绍华, 林明莹. 咖啡果小蠹(鞘翅目: 象鼻虫科: 小蠹虫亚科)之药效试验及其田间族群变动[J]. 嘉大农林学报, 2021, 18(2): 69-81.
WEI S H, LIN M Y. Pharmacodynamic experiments and field population changes of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Elephantidae: subfamily Scorpaeinidae)[J]. Journal of Agriculture and Forestry of Chiayi University, 2021, 18(2): 69-81. (in Chinese)
- [25] RUIZ-DIAZ C P, RODRIGUES J C V. Vertical trapping of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytinae), in coffee[J]. Insects, 2021, 12(7): 607.
- [26] RUESINK W G, KOGAN M. The quantitative basis of pest management: sampling and measuring[M]//METCALF R L, LUCKMAN W (Eds.). Introduction to insect pest management, New York: Wiley-Interscience, 1975: 315-352.
- [27] WIRYADIPUTRA S. Distribution pattern of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) on Arabica and Robusta coffee[J]. Pelita Perkebunan, 2014, 30(2): 123-136.
- [28] PULAKKATU-THODI I, GUTIERREZ-COARITE R, WRIGHT M G. Dispersion and optimization of sequential sampling plans for coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae) infestations in Hawaii[J]. Environmental Entomology, 2018, 47(5): 1306-1313.
- [29] MIGUEL C L, NANCY G Z, CECILIA M E, PABLO B. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) emergence from ground fruits across varying altitudes and climate cycles, and the effect on coffee tree infestation[J]. Neotropical Entomology, 2021, 50(3): 374-387.
- [30] PEREIRA A E, GONTIJO P C, FANTINE A K, TINOCO R S, ELLERSIECK M R, CARVALHO G A, ZANUNCIO J C, VILELA E F. Emergence and infestation level of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) on coffee berries on the plant or on the ground during the post-harvest period in Brazil[J]. Journal of Insect Science, 2021, 21(2): 10.