

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2016.01.010

# 椰子织蛾不育技术的生物学基础

吕宝乾<sup>1,2</sup>, 金启安<sup>1</sup>, 温海波<sup>1</sup>, 彭正强<sup>1\*</sup>, 阎伟<sup>3</sup>, 唐真正<sup>4</sup>, 陈红松<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 海口 571101; <sup>2</sup>广西农业科学院植物保护研究所, 广西南宁 571339; <sup>3</sup>中国热带农业科学院椰子研究所, 海南 文昌 571339;  
<sup>4</sup>海南省儋州市森林植物检疫站, 海南 儋州 571737

**摘要:**【背景】椰子织蛾是新入侵我国海南岛的棕榈害虫, 昆虫不育技术是控制该害虫的潜在措施。【方法】通过研究椰子织蛾生殖、发育、存活等特性, 探讨椰子织蛾不育技术的生物学基础。【结果】在(28±2)℃、(70±10)% RH、以椰子老叶饲养的条件下, 每雌产卵量约170粒, 净增值率约55.4, 倍增时间约9.6 d, 表明椰子织蛾可在室内大量饲养, 为辐射不育提供虫源。椰子织蛾雌雄比为1:1.04, 雄虫先熟, 产卵前期短, 产卵期集中, 表明该害虫交配行为相对简单, 有利于不育雄虫发挥效能。雌蛹显著重于雄蛹, 有利于不育过程中雌雄虫的分离。发育起点温度11.5℃, 有效积温996.9日度, 在海南岛每年发生4~5代, 这些数据可用来预测椰子织蛾种群动态, 便于释放不育雄虫。【结论与意义】本研究从生物学角度表明椰子织蛾可用昆虫不育技术进行防控, 为其进一步的不育技术研发提供相关信息。

**关键词:** 椰子织蛾; 生物学; 昆虫不育技术

## Biological basis for the sterile insect technique of *Opisina arenosella*

Bao-qian LÜ<sup>1,2</sup>, Qi-an JIN<sup>1</sup>, Hai-bo WEN<sup>1</sup>, Zheng-qiang PENG<sup>1\*</sup>, Wei YAN<sup>3</sup>,  
Zhen-zheng TANG<sup>4</sup>, Hong-song CHEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China;  
<sup>2</sup>Plant Protection Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi, 571339, China; <sup>3</sup>Coconut Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wenchang, Hainan 571339, China;  
<sup>4</sup>Forest Quarantine Station, Danzhou, Hainan 571737, China

**Abstract:** 【Background】The coconut black-headed caterpillar, *Opisina arenosella* Walker, is one of the significant pests of palm plants. We investigated the biological basis for the sterile insect technique (SIT) of *O. arenosella* as a potential measure to control this pest. 【Method】*O. arenosella* fecundity, development and survival rates were studied under controlled conditions of (28±2)℃ and (70±10)% relative humidity and fed with mature coconut *Cocos nucifera* leaves. 【Result】During the experiment, *O. arenosella* laid about 170 eggs per female, with a net reproductive rate of 55.4, and doubling time of 9.6 days. These results indicated that *O. arenosella* could be massively reared in lab conditions, hence become an insect resource for SIT. *O. arenosella* exhibited protandry with sex ratio of 1:1.04. Preoviposition and oviposition were short indicating that mating might be simple, thus facilitating male sterilisation. Female pupa was larger than male, which was helpful to separate male and female during SIT. The estimated developmental threshold temperature was 11.5℃, and estimated effective accumulated temperature was 996.9 degree days. The predicted number of generations per year in Hainan was 4~5. This ecological information provided more realistic estimates of *O. arenosella* population and sterile moth ratios needed for desired levels of control. 【Conclusion and significance】This paper showed the potential for SIT of *O. arenosella* and provided information for further development of a SIT program.

**Key words:** *Opisina arenosella*; biology; SIT

椰子织蛾 *Opisina arenosella* Walker 是棕榈科植物的重要害虫, 原产地为印度和斯里兰卡 (Howard *et al.*, 2001), 现已扩散到缅甸、泰国、孟加拉国、马来西亚、印度尼西亚和巴基斯坦等国家和地区 (吕

收稿日期 (Received): 2015-10-09 接受日期 (Accepted): 2015-11-30

基金项目: 海南省国际合作项目 (KJHZ2015-01); 广西作物病虫害生物学重点实验室基金 (14-045-50-KF-3); 科技部国际援助项目 (KY201301025); 科技部支撑计划项目 (015BAD08B03)。

作者简介: 吕宝乾, 男, 副研究员。研究方向: 农林有害生物防治。E-mail: lvbaoqian@hotmail.com

\* 通讯作者 (Author for correspondence), E-mail: lypzhq@163.com

宝乾等,2013; Cock & Perera, 1987; Perera *et al.*, 1988)。2013年,海南省万宁市首次报道椰子织蛾危害,随后海南的海口、三亚、陵水、儋州、澄迈、保亭和文昌,广东的顺德和中山,以及广西的防城港等地相继发现该害虫(阎伟等,2013、2015b)。

椰子织蛾危害多种棕榈科植物,幼虫取食寄主叶片,造成叶片枯萎,危害严重时可导致寄主植物死亡(阎伟等,2015a)。椰子织蛾的扩散危害急需有效的防控措施。曾成功灭除岛屿入侵害虫(Koyama *et al.*, 2004)的昆虫不育技术(sterile insect technology, SIT)可考虑用来控制该害虫。昆虫不育技术通过不同手段(辐射不育、化学不育、基因改良等)使害虫不能产生后代,降低种群数量,从而达到控制害虫的目的(赵善欢,1981;王玉生等,2015; Dyck *et al.*, 2005)。昆虫不育技术旨在不影响非靶标生物的前提下减少靶标害虫的繁殖数量,是对环境最友好的防治策略之一。辐射不育是昆虫不育技术的常见措施,通过辐射获得不育雄虫后,释放不育雄虫,使其自行寻找雌虫交配,产生无效卵,从而阻断种群的繁育和增殖。昆虫不育技术已有令人鼓舞的成功案例。例如,20世纪50年代,美国首次利用昆虫不育技术结合大面积害虫综合治理,成功消灭了在其东南部发生的一种对牲畜具有致命作用的寄生虫——新大陆螺旋蝇 *Cochliomyia hominivorax* (Coquerel) (Dyck *et al.*, 2005)。20世纪八九十年代,日本科学家利用昆虫不育技术根除了在冲绳及其全部西南岛屿上发生的瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Koyama *et al.*, 2004)。

在入侵初始阶段的海南岛利用不育技术可望根除椰子织蛾。实施椰子织蛾不育项目应先从生物学方面评估其可行性,如椰子织蛾是否能低成本的大量饲养,交配行为是否简单(Dyck *et al.*, 2005),种群数量及动态能否被准确估测。针对此,本文研究了椰子织蛾相关的生物学特征,以探讨该害虫不育技术的可行性。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

人工气候箱(A1000, Conviron, Manitoba, Canada)、指形管(直径4 cm,长8 cm)、养虫盒(长25 cm,宽14 cm,高7 cm,盒盖封有纱网)。

### 1.2 椰子织蛾饲养

椰子织蛾采自儋州市郊区椰子树。新羽化椰子织蛾雌雄配对,引入带有椰子老叶的指形管中,并提供10%蜂蜜水以供应养分。椰子织蛾成虫产卵于椰子叶片,将带有卵的叶片放入一养虫盒中孵化。幼虫期每4 d更换一次叶片,化蛹后收集蛹于指形管中。蛹羽化为成虫后配对进行下一世代的饲养,室内连续饲养2代,获得足够虫源用于试验。

### 1.3 椰子织蛾雌雄性比、寿命及蛹重

人工气候箱控制试验温度( $28 \pm 2$ ) °C,相对湿度( $70 \pm 10$ )%,光照12 h。新羽化椰子织蛾雌雄虫配对(性比1:1),让雌虫产卵于椰子叶。挑取100粒卵单粒分别放入带有椰子叶的指形管,按1.2方法饲养,直至幼虫化蛹。记录各幼虫和蛹的发育,并称蛹重(精度0.0001 g)。羽化后,分雌雄并记录成虫寿命。试验重复5次。虫数、幼虫历期、蛹历期、成虫寿命及蛹重的雌雄差异用单因素方差进行分析。

### 1.4 各虫态发育历期、发育起点温度和有效积温

5台人工气候箱温度分别设置为20、23、26、29、32、35 °C,相对湿度均为( $70 \pm 10$ )%,光照12 h。每个温度下放入10个养虫盒,每个养虫盒内有新产卵约100粒。按1.3方法饲养1代,每天观察1次,记录各虫态及整个世代的发育时间。温度和虫态对发育历期的影响用两因素方差进行分析。用温度( $T$ )和发育速率 $[R(T)]$ 的线型模型 $R(T) = a + b \cdot T$ 估算发育起点温度( $T_0$ )和有效积温( $K$ ) (Ikemoto & Takai, 2000)。用公式 $n = (\text{年均温度} - T_0) \times 365 / K$ 估算发生代数(Beck, 1983)。采用三阶多项式回归模型(harcourt equation)估算椰子织蛾的最佳发育温度(Harcourt & Yee, 1982)。

### 1.5 种群生命表

人工气候箱控制试验条件同1.3。100粒椰子织蛾卵单粒放于有椰子叶的指形管中。每天观察1次,记录每个虫态的发育历期、存活率及成虫雌雄比和产卵量。试验重复3次。用性比、各龄期存活率( $l_x$ )和每个龄期的平均雌虫数( $m_x$ )构建种群生命表(Legaspi & Legaspi, 2007)。净增值率 $R_0 = \sum l_x m_x$ ,世代周期 $T = (\sum x l_x m_x) / (\sum l_x m_x)$ ,内禀增长率 $r_m = (\ln R_0) / T$ ,周限增长率 $\lambda = \exp r_m$ ,倍增时间 $PDT = (\ln 2) / r_m$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 椰子织蛾雌雄比、寿命及蛹重

每批椰子织蛾雌雄虫数量无显著差异,即椰子织蛾的雌雄比为 1 : 1.04(表 1)。雄虫幼虫的发育

历期和蛹期显著短于雌虫,表现为雄虫先成熟(protandry),但是雄成虫寿命显著长于雌成虫。雌蛹显著重于雄蛹,表明雌虫个体大于雄虫(表 1)。

表 1 椰子织蛾在温度(28±2) °C、湿度(70±10) %条件下的雌雄虫数量、虫态发育历期、成虫寿命及蛹重

Table 1 Number of males and females, duration of the larval and pupal developmental stages, adult longevity and pupal weight of *O. arenosella* at (28±2) °C and(70±10) % RH

性别 Sex	数量(头) Number	幼虫历期 Larval development (d)	蛹历期 Pupal development (d)	成虫寿命 Adult longevity (d)	蛹重 Pupa weight (mg)
雌虫 Female	33.4±3.1	39.4±1.1	10.4±1.1	5.0±0.3	52.1±13.3
雄虫 Male	34.8±3.7	36.6±1.1	7.4±0.9	5.9±0.5	25.2±5.9
LSD	5.8	1.0	2.4	0.3	0.02
P	0.5	0.002	0.03	< 0.01	0.02

### 2.2 温度对椰子织蛾各虫态发育历期的影响

温度显著影响椰子织蛾发育( $F_{4,156} = 278.36; P < 0.05$ ),温度越高发育历期越短(表 2)。35 °C 下,卵能孵化但不能完成世代发育。幼虫历期显著长于其他阶段( $F_{3,157} = 2778.86; P < 0.05$ )。

进行模拟,以此模型估算椰子织蛾的发育起点温度为 11.53 °C,有效积温 996.93 日度( $F = 571.92, P < 0.01$ )(图 1)。海南省年平均气温为 24.5 °C,进而估算出椰子织蛾在海南每年可发生 4~5 代,其最佳发育温度为 32 °C( $F = 571.92, P < 0.01$ )(图 2)。

温度对椰子织蛾发育速率影响可用线性模型

表 2 温度对椰子织蛾各虫态发育历期(mean±SE)的影响

Table 2 Effect of temperature on the developmental time of different stage (mean±SE) of *O. arenosella*

虫态 Stage	发育历期 Developmental duration (d)					
	20 °C	23 °C	26 °C	29 °C	32 °C	35 °C
卵 Egg	14.9±2.5a	8.7±1.9b	7.5±1.6c	6.8±1.4c	5.8±1.4d	4.2±1.3e
幼虫 Larva	67.9±9.6a	55.9±9.4b	45.0±10.0c	38.9±8.1d	28.6±9.5e	-
蛹 Pupa	17.6±6.3a	12.6±4.3b	10.3±3.4c	9.2±2.4c	8.5±2.0d	-
成虫 Adult	14.0±3.2a	10.1±2.7b	8.4±1.7c	6.8±1.4d	4.4±1.1e	-
世代 Total	114.2±16.8a	87.9±13.0b	70.2±12.7c	57.8±9.4d	47.4±11.1e	-

同行数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Different letters within a line represent significantly different among temperatures ( $P < 0.05$ ).

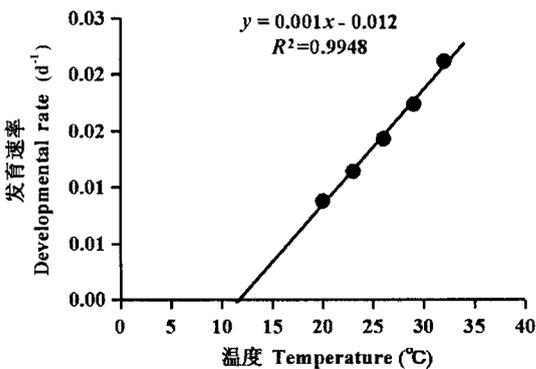


图 1 温度对椰子织蛾发育影响的线性模拟

Fig.1 Linear model for the effect of temperature on the developmental rate of *O. arenosella*

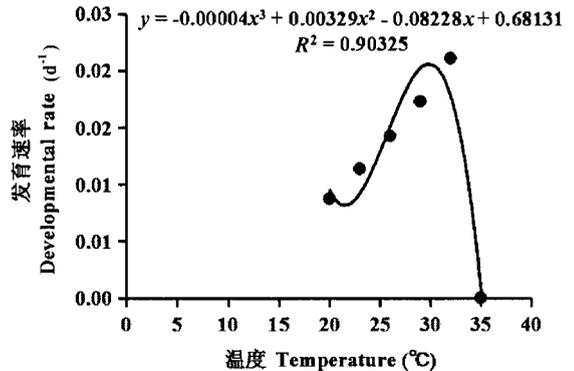


图 2 温度对椰子织蛾发育影响的三阶多项式回归模拟

Fig.2 Third order polynomial model for the effect of temperature on the developmental rate of *O. arenosella*

### 2.3 椰子织蛾在温度 (28±2) °C、湿度 (70±10) % 条件下的种群生命表

图 3 所示, 椰子织蛾在 (28±2) °C、湿度 (70±10) % 条件下, 每雌产卵量 170 粒, 产卵前期约 1 d, 产卵期 3~4 d, 产卵峰值在第 3 天, 产卵后期约 2 d。

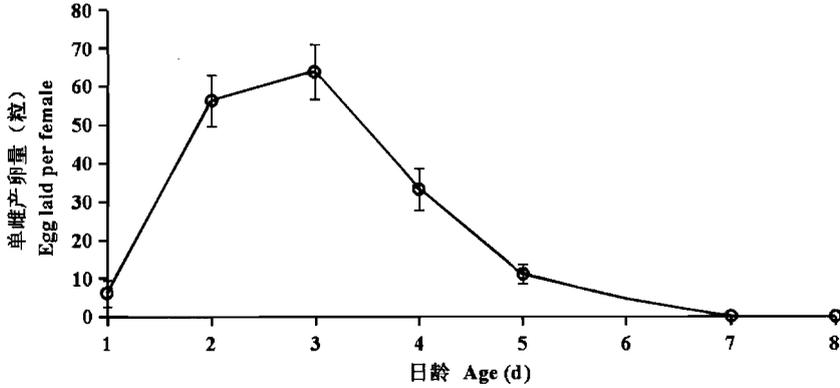


图 3 椰子织蛾在 (28±2) °C、湿度 (70±10) % 条件下的产卵动态 (n=30)

Fig.3 Dynamics of *O. areosella* oviposition at (28±2) °C and (70±10) % RH (n=30)

表 3 椰子织蛾在温度 (28±2) °C、湿度 (70±10) % 条件下的种群生命表

Table 3 Life table of *O. areosella* at (28±2) °C and (70±10) % RH

虫态 Stage	代表性年龄 Age interval (d)	存活率 Survival rate (%)	每雌产卵率 Average number of females
卵 Egg	6.0±0.6	1.00	-
1 龄幼虫 1st instar	11.0±0.6	0.86±0.03	-
2 龄幼虫 2nd instar	16.0±0.6	0.82±0.02	-
3 龄幼虫 3rd instar	21.5±0.9	0.78±0.03	-
4 龄幼虫 4th instar	28.3±0.9	0.74±0.03	-
5 龄幼虫 5th instar	41.7±1.5	0.71±0.04	-
蛹 Pupa	50.7±1.5	0.68±0.03	-
成虫 Adult	57.7±1.5	0.63±0.04	86.7±4.1

根据表 3 数据计算, 椰子织蛾在 (28±2) °C、相对湿度 (70±10) % 条件下, 净增值率为 55.4±4.6, 世代周期为 (57.7±1.5) d, 内禀增长率为 0.07±0.01, 周限增长率为 1.08±0.01, 倍增时间为 (9.6±0.7) d。

卷蛾 *Thaumatotibia leucotreta* (Meyrick) (Bloem *et al.*, 2007)、墨西哥和美国的仙人掌螟 *Cactoblastis cactorum* Berg (Hight *et al.*, 2005) 等。

本文研究结果显示, 椰子织蛾具有可用于不育技术进行防控的基本生物学特性。如其雄蛹显著小于雌蛹, 有利于分离雄蛹进行辐射不育处理。昆虫雌雄比例影响其交配行为, 如地中海实蝇 *Ceratitis capitata* (Wiedemann) 为偏雄性 (Shahjahan *et al.*, 2006), 雄虫存在竞争交配 (lek mating), 影响不育雄虫的效能 (Hendrichs *et al.*, 2002)。椰子织蛾雌雄性比为 1 : 1, 雄虫可能不存在竞争交配, 交配行为可能较简单, 这将有有利于不育技术的实施。但是, 椰子织蛾的交配真实情况如何, 还需要通过试验进一步研究。雄成虫寿命长于雌虫, 表明雄蛾有更多时间搜索雌虫, 有利于不育雄虫发挥效能。但辐射后雄虫的寿命、交配竞争能力等是否受到影响, 还需进一步验证。同时, 试验表明, 椰子织蛾用椰子老叶室内饲养有较高的增值率。椰子老叶容易获得, 成本低, 是椰子织蛾大量扩繁的前提。椰子织蛾的发育起点温度、发育最佳温度及有效积温可以有效预测该害虫的发生动态, 为将来科学释放不育椰子织蛾提供依据。

### 3 讨论

昆虫不育技术长期以来被用于预防、控制、灭除鳞翅目害虫 (赵善欢, 1981; Dyck *et al.*, 2005)。从 1946 年开始, 研究者在加利福尼亚圣杰昆峡谷的棉田释放不育处理的棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Dyck *et al.*, 2005), 以防止加利福尼亚南部的棉红铃虫迁移到圣杰昆峡谷建立种群; 1994 年, 在英属哥伦比亚省的奥克那根持续释放辐照处理的苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 雄性成虫, 以控制整个区域的苹果蠹蛾种群 (Bloem *et al.*, 2007)。SIT 在防治较大的蛾类害虫获得成功且常被作为典型时, 利用 SIT 措施灭除相对小型的蛾类害虫也取得了成功, 如防治南非的苹果异胫小

椰子等棕榈科植物是我国热带的重要经济作物, 也是维护热带海岸线的重要生态资源。鉴于入侵害虫椰心叶甲 *Brontispa longissima* (Gestro) 对我

国棕榈科植物造成严重危害的先例,防控椰子织蛾的扩散危害迫在眉睫。昆虫不育技术为控制椰子织蛾提供新途径,该技术环境友好,能克服常规药剂喷雾的缺陷。椰子织蛾入侵海南时间较短,种群密度相对较低,有利于昆虫不育技术发挥效能 (Bloem *et al.*, 2007; Cini *et al.*, 2012)。再者,海南岛作为岛屿有天然的隔离作用,是释放不育昆虫进行区域防治的理想场所 (Dyck *et al.*, 2005; Ohno *et al.*, 2008)。昆虫不育技术在海南岛有好的应用前景,应积极开展相关研发。获得技术不仅有助于解决海南当地椰子织蛾危害问题,而且可输出到其他椰子织蛾发生国家。

### 参考文献

- 吕宝乾, 严珍, 金启安, 温海波, 符悦冠, 李伟东, 彭正强, 2013. 警惕椰子织蛾 *Opisina arenosella* Walker (鳞翅目: 织蛾科) 传入中国. *生物安全学报*, 22(2): 17-22.
- 王玉生, 蔡玉音, 武强, 严盈, 张桂芬, 刘桂清, 万方浩, 2015. 害虫遗传不育技术中致死基因的研究与应用. *生物安全学报*, 24(2): 136-147.
- 阎伟, 刘丽, 李朝绪, 吕宝乾, 覃伟权, 彭正强, 李洪, 2015a. 入侵害虫椰子织蛾对海南椰子造成的经济损失评估. *中国南方果树*, 44(4): 156-159.
- 阎伟, 吕宝乾, 李洪, 李朝绪, 刘丽, 覃伟权, 彭正强, 骆有庆, 2013. 椰子织蛾传入中国及其海南省的风险性分析. *生物安全学报*, 22(3): 163-168.
- 阎伟, 陶静, 刘丽, 李朝绪, 吕宝乾, 覃伟权, 彭正强, 骆有庆, 2015b. 需引起警惕的棕榈科植物入侵害虫——椰子织蛾. *植物保护*, 41(4): 212-217.
- 赵善欢, 1981. 昆虫不育科学技术最近的一些进展. *广东农业科学* (3): 4-6.
- Beck S D, 1983. Insect thermoperiodism. *Annual Review of Entomology*, 28(1): 91-108.
- Bloem S, Carpenter J, McCluskey A, Fugger R, Arthur S and Wood S, 2007. Suppression of the codling moth *Cydia pomonella* in British Columbia, Canada using an area-wide integrated approach with an SIT components // Vreysen M J B, Robinson A S and Hendrichs J. *Area-Wide Control of Insect Pests*. Dordrecht: Springer: 591-601.
- Cini A, Ioriatti C and Anfora G, 2012. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, 65(1): 149-160.
- Cock M J W and Perera P A C R, 1987. Biological control of *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera, Oecophoridae). *Biocontrol News and Information*, 8(4): 283-310.
- Dyck V A, Hendrichs J and Robinson A S, 2005. *Sterile Insect Technique*. Dordrecht: Springer.
- Harcourt D G and Yee J M, 1982. Polynomial algorithm for predicting the duration of insect life stages. *Environmental Entomology*, 11(3): 581-584.
- Hendrichs J, Robinson A S, Cayol J P and Enkerlin W, 2002. Medfly areawide sterile insect technique programmes for prevention, suppression or eradication: the importance of mating behavior studies. *Florida Entomologist*, 85(1): 1-13.
- Hight S D, Carpenter J E, Bloem S and Bloem K A, 2005. Developing a sterile insect release program for *Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera: Pyralidae): effective overflooding ratios and release-recapture field studies. *Environmental Entomology*, 34(4): 850-856.
- Howard F W, Moore D, Giblin-Davis R M and Abad R G, 2001. *Insects on Palms*. Oxford, England: CABI.
- Ikemoto T and Takai K, 2000. A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. *Environmental Entomology*, 29(4): 671-682.
- Koyama J, Kakinohana H and Miyatake T, 2004. Eradication of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae*, in Japan: importance of behavior, ecology, genetics, and evolution. *Annual Review of Entomology*, 49(1): 331-349.
- Legaspi J C and Legaspi B C, 2007. Life table analysis for *Cactoblastis cactorum* immatures and female adults under five constant temperatures: implications for pest management. *Annals of the Entomological Society of America*, 100(4): 497-505.
- Ohno S, Tamura Y, Haraguchi D and Kohama T, 2008. First detection of the pest fruit fly, *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae), in the field in Japan: evidence of multiple invasions of Ishigaki Island and failure of colonization. *Applied Entomology and Zoology*, 43(4): 541-545.
- Perera P A C R, Hassell M P and Godfray H C J, 1988. Population dynamics of the coconut caterpillar, *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Xyloryctidae), in Sri Lanka. *Bulletin of Entomological Research*, 78(3): 479-492.
- Shahjahan R M, Rendon P A, Cook L M and Wood R J, 2006. Male biased sex ratio in the Mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata*, an example of Y-chromosome meiotic drive. *Heredity*, 96(6): 464-470.