

# 温度对红棕象甲实验种群生长发育及繁殖的影响

赵明<sup>1</sup> 鞠瑞亭<sup>2\*</sup>

(1. 扬州大学园艺与植物保护学院, 扬州 225009; 2. 上海市园林科学研究所, 上海 200232)

**摘要:** 红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) 是为害我国棕榈科植物的重要入侵害虫, 为探明温度对该虫生长发育的影响, 在室内设置 19、22、26、30 和 33 °C 等 5 个温度梯度, 观察各温度下红棕象甲的发育进度、存活率及生殖力, 计算不同温度下实验种群参数。结果表明, 19~30 °C 时, 红棕象甲的发育历期随温度的升高而缩短, 世代平均发育历期在 19、22、26、30 °C 时分别为 214.9、141.4、74.1、63.2 天。世代发育起点温度和有效积温分别为 14.2 °C 和 1067.7 日度。在 22~33 °C 间, 成虫的寿命随温度的升高而缩短, 各温度下雄成虫寿命普遍比雌成虫长。单雌产卵量在 26 °C 时最高, 平均为 267.8 粒, 19 °C 时最低, 仅为 30.5 粒。26~30 °C 为红棕象甲最适宜生长发育温度范围, 该范围内成虫繁殖力和种群内禀增长率( $r_m$ )最高。

**关键词:** 红棕象甲; 温度; 实验种群; 生长发育; 种群参数

## Effects of temperature on the development and fecundity of experimental population of *Rhynchophorus ferrugineus*

Zhao Ming<sup>1</sup> Jü Ruiting<sup>2\*</sup>

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu Province, China; 2. Shanghai Institute of Landscape Gardening Science, Shanghai 200232, China)

**Abstract:** Red palm weevil (RPW), *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier), native to Southern Asia, is becoming a serious invasive pest of palms in China in recent years. To clarify the effect of temperature on the development of RPW, the developmental time, survival rate and fecundity of RPW reared on Canary Island date palm, *Phoenix canariensis*, were investigated and population parameters were calculated at five constant temperatures (19, 22, 26, 30 and 33 °C) in the laboratory. The result showed that the developmental time decreased with temperature increasing from 19 °C to 30 °C. The developmental time for the whole generation at 19, 22, 26, 30 °C was 214.9, 141.4, 74.1, 63.2 days, respectively. The developmental threshold temperature and effective accumulative temperatures required for the whole generation were 14.2 °C and 1 067.7 degree-days, respectively. Longevity of adult RPW was shortened with temperature increasing from 22 °C to 33 °C. Generally, the longevity of male RPW was longer than that of female. The maximum number of eggs laid per female was 267.8 at 26 °C, while the minimum was 30.5 °C at 19 °C. The most suitable temperature range for the development of RPW was from 26 °C to 30 °C, and the oviposition and population intrinsic rate of natural increase ( $r_m$ ) at this condition were higher than that at other temperatures.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2008BAJ10B05), 上海市科委重大项目(09dz0580202), 上海市科委基础研究重点项目(10JC1414100), 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2007)第9-2号]

作者简介: 赵明,男,1975年生,实验师,研究方向为昆虫生态学, email: zhaoming@yzu.edu.cn

\* 通讯作者(Author for correspondence), email: jur5907@sohu.com; 收稿日期: 2010-04-02

**Key words:** *Rhynchophorus ferrugineus*; temperature; experimental population; development; population parameter

红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* 属鞘翅目 Coleoptera 象甲科 Curculionidae, 该虫以幼虫蛀食椰子、加纳利海枣等棕榈科植物茎干内部及生长点, 并取食柔软组织造成隧道, 导致受害组织坏死腐烂并产生特殊气味, 严重时造成植株茎干中空, 整株死亡<sup>[1]</sup>。红棕象甲是一种世界性害虫, 在北纬 40° 至南纬 40° 之间均有分布<sup>[2-4]</sup>, 除美洲大陆以外, 其它各大洲均有该虫为害记录<sup>[5]</sup>, 特别在中东、南亚、东亚、太平洋诸岛和地中海沿岸部分国家及地区为害尤为严重<sup>[3, 5]</sup>。在我国, 红棕象甲早先主要分布在海南、广西、广东、台湾、云南、福建、香港、西藏(墨脱)等地<sup>[6-7]</sup>。近年来, 随着棕榈科观赏植物的北移引种, 该虫分布区迅速扩张到上海、浙江、江西等地<sup>[1, 8-9]</sup>, 成为我国重要的入侵害虫。鉴于该虫对中国椰子及加纳利海枣等棕榈科植物生产威胁较大, 国家林业局于 2005 年将其列入我国新发布实施的 19 种林业检疫性有害生物名录<sup>[10]</sup>。关于红棕象甲的前期研究, 主要集中在生物学特性及形态和行为观察<sup>[1, 11-13]</sup>、耐寒性<sup>[14]</sup>、室内饲养方法<sup>[15]</sup>、适生性分布<sup>[4]</sup>、风险分析<sup>[16]</sup>、监测技术<sup>[5]</sup>、生物防治和化学防治<sup>[2, 5, 11-12, 17-21]</sup>等方面, 而从温度对种群发育影响的角度开展其种群生态学的系统研究尚未见报道。温度是决定红棕象甲生长发育的关键因子, 本试验研究温度对该虫生长发育的影响, 旨在为预测其世代分布奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

供试食料: 从上海苗圃购回加纳利海枣 *Phoenix canariensis*, 将其主干外部的叶和叶柄削除干净, 将幼嫩部分切成长 × 宽 × 高 = 8 cm × 4 cm × 4 cm 的小块供试。

供试虫源: 2006 年从上海市龙阳路段受害的加纳利海枣植株上采集成虫, 实验室用加纳利海枣繁殖后, 以初产卵供试。

设备: Sanyo MLR-350H 人工气候箱, 日本三洋电机有限公司。

### 1.2 试验设计

#### 1.2.1 温度对卵和幼虫的影响

在人工气候箱内, 设置 19、22、26、30 和 33 °C (±0.5 °C) 等 5 个温度处理, RH(80 ± 5)%, 光照

14 L: 10 D。挑选发育饱满的红棕象甲初产卵放入培养皿(直径 9 cm)中, 并用脱脂棉保湿, 置于以上不同温度梯度的气候箱内, 每天早晚 2 次, 观察并记录幼虫孵化数和孵化时间。幼虫孵化后将初孵幼虫放入培养皿单头饲养(饲养容器: 1~3 龄用直径 9 cm 培养皿, 4 龄以上用直径 12 cm 培养皿)。每天早晚 2 次, 观察各温度下幼虫的发育及存活情况, 记录各龄期幼虫的存活数和发育历期, 以幼虫蜕皮作为进入下一龄的依据。每处理以 180 粒初始卵量开始试验。

#### 1.2.2 温度对蛹和成虫的影响

老熟幼虫不再取食时, 在培养皿内放入剪碎的叶柄组织作为做茧材料, 结茧后将茧单个分开保湿储存, 直到成虫羽化, 以羽化数作为蛹期存活率的计算依据, 以从结茧到成虫羽化的时间作为蛹期的发育历期。成虫羽化后, 将雌雄成虫按 1:1 性比随机配对, 单对放入直径 12 cm 的培养皿中, 并加入加纳利海枣切块组织供其产卵, 每天观察记录各温度条件下成虫存活和产卵量(温度设置同 1.2.1), 直至成虫全部死亡。每处理成虫数量为 5~12 对不等。

### 1.3 数据 处理

各处理平均数经过方差分析后, 用 Duncan 氏多重比较法进行差异显著性分析, 数据处理采用 DPS 系统进行<sup>[22]</sup>。采用线性日度模型和 Logistic 曲线模型拟合发育速率与温度关系; 用直线回归法计算红棕象甲发育起点温度( $C$ )和有效积温( $K$ ), 公式如下:

$$C = (\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT) / [n \sum V^2 - (\sum V)^2]$$

$$K = (n \sum VT - \sum V \sum T) / [n \sum V^2 - (\sum V)^2]$$

式中:  $C$  为发育起点温度;  $V$  为发育速率;  $T$  为试验温度;  $n$  为重复数;  $K$  为有效积温。

种群参数内禀增长率( $r_m$ )、净增殖率( $R_0$ )和世代平均周期( $T$ )的计算方法参照 Birch<sup>[23]</sup>和 Laughlin<sup>[24]</sup>提出的模型, 公式如下:

$$\sum_{x=1}^{\omega} l_x \cdot m_x \cdot \exp(-r_m x) = 1, R_0 = \sum_{x=1}^{\omega} l_x \cdot m_x,$$

$$T = \sum_{x=1}^{\omega} x \cdot l_x \cdot m_x / \sum_{x=1}^{\omega} l_x \cdot m_x$$

式中:  $\omega$  为最高日龄;  $x$  为起始日龄;  $l_x$  为各年龄段存活率;  $m_x$  为产卵率。

## 2 结果与分析

### 2.1 温度对红棕象甲发育历期和发育速率的影响

温度对红棕象甲各虫态的发育历期有显著影响,在 19~33℃ 范围内,卵和蛹的发育历期均随温度的升高而缩短,即发育速率与温度呈正相关;幼虫期在 19~30℃ 范围内,发育历期亦随温度的升高而缩短,但 33℃ 下幼虫的发育历期较 30℃ 稍长。从

全世代来看,虽然 33℃ 下世代发育历期较 30℃ 稍长,但两者之间差异并不显著,从而在整体上表现出世代发育历期亦随温度的升高而缩短的趋势。红棕象甲世代发育历期在 30℃ 条件下最短,平均为 63.2 天,与 26℃、33℃ 下的世代历期无显著性差异,但与 22℃、19℃ 下的世代历期存在显著性差异,表明 26~33℃ 为红棕象甲发育的适宜温度范围(表 1)。

表 1 不同温度下红棕象甲的发育历期

Table 1 Developmental time of *Rhynchophorus ferrugineus* at different temperatures

d

温度(℃) Temperature	卵 Egg	幼虫 Larva	蛹 Pupa	世代 Generation
19	9.6 ± 1.0 a	151.3 ± 34.9 a	60.3 ± 19.5 a	214.9 ± 25.7 a
22	5.2 ± 0.5 b	76.5 ± 15.3 b	44.2 ± 13.8 b	141.4 ± 26.9 b
26	3.3 ± 0.3 c	41.8 ± 14.0 cd	28.1 ± 5.6 c	74.1 ± 11.7 c
30	2.8 ± 0.4 d	32.7 ± 6.6 d	23.9 ± 12.4 c	63.2 ± 16.8 c
33	2.3 ± 0.5 e	45.7 ± 11.2 c	19.6 ± 2.8 c	70.2 ± 13.0 c

注:表中数据为平均值 ± 标准误。同列数据后不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ , DMRT 法)。Note: Data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters within the same column show significant differences at  $P < 0.05$  level by Duncan's multiple range test.

根据发育历期的数据,计算出红棕象甲各虫态在不同温度下的发育速率。拟合温度与发育速率关系的模型见表 2。从相关系数  $r$  值来看,虽然两种模

型的模拟结果均可达显著或极显著水平,但线性回归模型的  $r$  值小于 Logistic 模型的  $r$  值,说明用 Logistic 模型模拟该虫的发育规律效果更好。

表 2 红棕象甲发育速率与温度的关系模型

Table 2 Model of relationship between developmental rate and temperature for *Rhynchophorus ferrugineus*

虫态 Stage	线性回归模型 Linear model	相关系数 $r$	Logistic 模型 Logistic model	相关系数 $r$
卵 Egg	$V = 0.0229T - 0.3161$	0.9948 **	$y = 0.4640 / (1 + e^{5.7590 - 0.2432T})$	0.9957 **
幼虫 Larva	$V = 0.0014T - 0.0162$	0.8238 *	$y = 0.0265 / (1 + e^{10.6737 - 0.4916T})$	0.9048 *
蛹 Pupa	$V = 0.0024T - 0.0301$	0.9900 **	$y = 0.0649 / (1 + e^{4.1791 - 0.1638T})$	0.9944 *
世代 Generation	$V = 0.0008T - 0.0094$	0.9161 *	$y = 0.0155 / (1 + e^{8.4885 - 0.3892T})$	0.9802 *

注: \* 表示相关性显著( $P < 0.05$ ), \*\* 表示相关性极显著( $P < 0.01$ )。Note: The one asterisk and two asterisks show significant correlations at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  levels, respectively.

从 Logistic 模型得出发育速率最大值(模型分子部分的数值),将此值代入线性日度回归模型,求得发育速率最高时,红棕象甲卵、幼虫、蛹期和整个世代对应温度分别为 34.1、30.5、39.6、31.1℃,表明该虫整个世代的最高发育速率在 31℃ 左右。

### 2.2 红棕象甲的发育起点温度及有效积温

结果表明,红棕象甲卵、幼虫、蛹和整个世代的发育起点温度分别为 14.0、16.4、12.4 和 14.2℃,有效积温分别为 43.1、498.4、404.8 和 1067.7 日

度。其中,蛹期的发育起点温度最低,而卵期的有效积温最低。

### 2.3 温度对红棕象甲存活率的影响

结果表明,26~30℃ 时红棕象甲世代存活率较高;22、33℃ 时次之;而在 19℃ 时的存活率最低,仅为 10.0%,表明 26~30℃ 是该虫适宜存活温度(表 3)。由于幼虫期较长,各温度下个体死亡主要集中在幼虫期,因此幼虫期的生存状况是决定整个世代存活率的关键。

表 3 不同温度下红棕象甲的存活率

Table 3 Survival rate of *Rhynchophorus ferrugineus* at different temperatures

%

虫态 Stage	温度 Temperature(°C)				
	19	22	26	30	33
卵 Egg	73.3	73.3	80.0	73.3	63.3
幼虫 Larva	18.2	56.8	70.8	65.9	47.4
蛹 Pupa	75.0	60.0	67.6	69.0	61.1
世代 Generation	10.0	25.0	38.3	33.3	18.3

表 4 不同温度对红棕象甲成虫的影响

Table 4 Effect of temperature on the adults *Rhynchophorus ferrugineus*

温度(°C) Temperature	虫数(对) Number of adults (pair)	平均产卵量(粒) Number of eggs laid per female	性比 Sex ratio	寿命 Longevity(d)	
				雌 Female	雄 Male
19	5	30.5 ± 10.8 c	4:3	53.7 ± 24.4 c	70.0 ± 12.4 c
22	7	164.0 ± 47.9 b	4:3	107.7 ± 15.1 a	120.9 ± 20.1 a
26	12	267.8 ± 54.5 a	12:7	92.1 ± 38.4 ab	104.0 ± 32.9 ab
30	9	262.4 ± 42.3 a	9:7	86.0 ± 8.9 ab	103.7 ± 22.1 ab
33	6	182.8 ± 52.7 b	1:1	68.1 ± 12.7 bc	84.7 ± 16.7 bc

注:表中数据为平均值 ± 标准误。同列数据后标有不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ , DMRT法)。Note: Data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters within the same column show significant differences at  $P < 0.05$  level by Duncan's multiple range test.

#### 2.4 温度对红棕象甲成虫产卵和寿命的影响

红棕象甲成虫的寿命和繁殖能力与温度密切相关,在 19 °C 雌雄成虫寿命均最低,在 22 ~ 33 °C 范围内,成虫寿命随温度的升高而缩短,各温度下雄虫的寿命均较雌虫长。雌虫的繁殖能力在 26 ~ 30 °C 范围内较强,单雌产卵量在 260 粒左右(表 4),表明该温度范围是红棕象甲繁殖的最适温度,高温(33 °C)和低温(19 °C)对成虫繁殖均有明显的抑制作用。

#### 2.5 种群参数

不同温度下红棕象甲的种群参数见表 5。种群净增殖率( $R_0$ )在 26 °C 和 30 °C 时较其它温度高,这两个温度下的净增殖率分别约为 19 °C 下的 3.8 倍和 3.4 倍。内禀增长率( $r_m$ )也在 26 °C 和 30 °C 最高,分别为 0.038 和 0.039。世代平均周期在 19 °C 下最长,而在 26 °C 和 30 °C 下较短。表明 26 ~ 30 °C 是红棕象甲生长发育的最适温度范围。

表 5 不同温度下红棕象甲的实验种群参数

Table 5 Population growth parameters of *Rhynchophorus ferrugineus* at different temperatures

温度(°C) Temperature	净增殖率 $R_0$ Net reproductive rate	内禀增长率 $r_m$ Intrinsic rate of natural increase	世代平均周期 $T$ Mean generation time (d)
19	20.7	0.011	255.7
22	53.0	0.026	152.8
26	78.3	0.038	115.0
30	70.1	0.039	108.5
33	58.8	0.034	118.2

### 3 讨论

温度是昆虫生长发育的重要环境因子,对其种群繁衍起着决定性作用。在不同昆虫种类之间,虽然温度的作用可能迥异,但是,在昆虫的发育温度区内,低温通常会延缓各虫态的发育速率并延长发育

历期<sup>[25]</sup>。本研究表明,在不同温度下,红棕象甲各虫态的发育历期、存活率、成虫寿命、产卵量等均存在明显差异。在 19 ~ 30 °C 条件下,红棕象甲的发育速率随温度的升高而加快;26 ~ 30 °C 下红棕象甲的繁殖能力最强,且死亡率较低,表明该温度范围是红棕象甲生长发育和繁殖的最适温度。

内禀增长率等种群参数在研究、分析环境因子对昆虫种群数量变动的影晌时被广泛应用。但有关红棕象甲在不同温度下的种群参数研究,国内外未见相关报道。本研究结果表明,在 26 ~ 30 °C 范围内,种群增长速度最快、增长率最高,进一步表明该温度范围是红棕象甲种群生长发育的最适温度。上海地区 7 ~ 9 月气候恰好在这一范围内,因此这段时期适合该虫生长,田间调查也发现此时间是该虫为害最重的时期<sup>[12]</sup>。而在我国海南红棕象甲发生区,1 年中大部分时期均适合红棕象甲生长发育,因此,红棕象甲在海南可长年为害,从而成为椰子等棕榈科植物上的重要入侵害虫<sup>[21]</sup>。

世代发育起点温度和有效积温决定着昆虫的分布和在某一地区的发生世代数。本研究结果显示,红棕象甲的卵、幼虫、蛹期及整个世代的发育起点温度分别为 14.0、16.4、12.4、14.2 °C,其中完成 1 代的有效积温为 1067.7 日度。根据上海市地方志记载,上海地区大于 10 °C 的有效积温为 2699 日度,因此,该虫在上海世代分布理论上为 1 年 2 代,但是结合田间实际情况分析,其实际发生世代数为 1 年 1 代<sup>[12]</sup>,理论值大于实际值。究其原因,可能是昆虫在自然界的世代分布主要由自然变温决定,而本研究结果是在室内恒温条件下分析而得,此外,自然界的光周期、寄主营养状况等均可对一些昆虫世代构成影响。今后有必要进一步研究变温、光照、营养等综合因子对红棕象甲生长发育的影响,以便更加全面、系统地揭示环境因子对其世代的影响机制。

### 参 考 文 献 (References)

- [1] 王凤,鞠瑞亭,李跃忠,等. 红棕象甲室内生物学特性及形态观察. 昆虫知识, 2009, 46(4): 556 - 560
- [2] Murphy S T, Briscoe B R. The red palm weevil as an alien invasive; biology and the prospects for biological control as a component of IPM. *Biocontrol News and Information*, 1999, 20(1): 35 - 46
- [3] 鞠瑞亭,李跃忠,杜予州,等. 警惕外来危险害虫红棕象甲的扩散. 昆虫知识, 2006, 43(2): 159 - 163
- [4] 鞠瑞亭,李跃忠,王凤,等. 基于生物气候相似性的锈色棕榈象在中国的适生区预测. 中国农业科学, 2008, 41(8): 2318 - 2324
- [5] Faleiro J R. A review of the issues and management of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Rhynchophoridae) in coconut and date palm during the last one hundred years. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2006, 26(3): 135 - 154
- [6] 章士美,赵泳祥. 中国农林昆虫地理分布. 北京: 中国农业出版社, 1996
- [7] 万方浩,郑小波,郭建英. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制. 北京: 科学出版社, 2005
- [8] 王连生,陈志生,潜祖琪,等. 浙江省象甲科新记录——红棕象甲的发生与防治. 浙江林业科技, 2008, 28(4): 56 - 59
- [9] Li Y Z, Zhu Z R, Ju R T, et al. The red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae), newly reported from Zhejiang, China and update of geographical distribution. *Florida Entomologist*, 2009, 92(2): 386 - 387
- [10] 宋玉双. 十九种林业检疫性有害生物简介 (I). 中国森林病虫害, 2005, 24(1): 30 - 35
- [11] 刘奎,彭正强,付悦冠. 红棕象甲研究进展. 热带农业科学, 2002, 22(2): 70 - 77
- [12] 张岳峰,唐国良,王玲,等. 锈色棕榈象生活习性与防治试验. 中国森林病虫害, 2008, 27(3): 12 - 13
- [13] 李磊,覃伟权,黄山春,等. 室内饲养红棕象甲的行为观察. 昆虫知识, 2009, 46(6): 926 - 929
- [14] 鞠瑞亭,王凤,肖娉玉,等. 上海地区红棕象甲的耐寒性研究. 昆虫学报, 2010, 53(2): 226 - 232
- [15] 王凤,鞠瑞亭,李跃忠,等. 利用甘蔗饲养红棕象甲的技术. 昆虫知识, 2009, 46(6): 967 - 969
- [16] 李玉秀,冯琛,张岳峰. 上海地区红棕象甲的危险性评估. 上海农业学报, 2008, 24(1): 87 - 90
- [17] Abraham V A, Abdulla-Koya K M, Kurian C. Evaluation of seven insecticides for control of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Fabr. *Journal of Plantation Crops*, 1975, 3(2): 71 - 72
- [18] Hanounik S B. Steinernematids and heterohabditids as biological control agents for red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*). *Sultan Qaboos University Journal of Scientific Research-Agricultural Sciences*, 1998(3): 95 - 102
- [19] Ramachandran C P. The red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* F.: a review and future strategies. *Indian Coconut Journal Cochin*, 1998, 29(4): 104 - 106
- [20] Hallett R H, Oehlschlager A C, Borden J H. Pheromone trapping protocols for the Asian palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Pest Management*, 1999, 45(3): 231 - 237
- [21] 覃伟权,赵辉,韩超文. 红棕象甲在海南发生为害规律及其防治. 云南热作科技, 2002, 25(4): 29 - 30, 33
- [22] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002
- [23] Birch L C. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *Journal of Animal Ecology*, 1948, 17(1): 15 - 26
- [24] Laughlin R. Capacity for increase: a useful population statistics. *Journal of Animal Ecology*, 1965, 34(1): 77 - 91
- [25] 丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用. 北京: 科学出版社, 1980