应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2014, 51(5): 1387−1392. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2014.166

一种红棕象甲人工饲料及其效果*

阎 伟[1, 2**] 李 磊[1] 李朝绪[1] 黄山春[1] 刘 丽[1] 覃伟权[1***]
彭正强[3] 骆有庆[2]

（1. 中国热带农业科学院椰子研究所，文昌 571339；2. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室，北京 100083；
3. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，海口 571101）

摘 要 **【目的】** 为评价一种红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver 人工饲料的饲养效果。**【方法】** 以自然寄主大王棕和甘蔗饲养红棕象甲作对照，连续 3 代饲养红棕象甲，对红棕象甲各发育阶段的生长和发育指标进行调查。**【结果】** 用人工饲料饲养的红棕象甲幼虫历期和蛹历期（40.20 d 和 33.99 d）显著低于对照组（60.87 d 和 36.12 d；109.00 d 和 42.70 d），用人工饲料饲养的红棕象甲幼虫存活率（63.87%）显著高于对照组（37.99%和 48.60%）。人工饲料饲养的红棕象甲，在单雌产卵量和卵孵化率方面与对照组没有显著差异，在蛹重和成虫体重方面显著小于对照组，蛹重比对照组减少了 25.55%和 63.87%，成虫体重比对照组减少了 24.18%和 35.16%。**【结论】** 该人工饲料可以很好的满足红棕象甲生殖发育的营养需求，且缩短了世代发育历期，适于红棕象甲种群规模化、长期饲养。

关键词 红棕象甲，人工饲料，大规模饲养，饲养效果

An artificial diet for the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver

YAN Wei[1, 2**] LI Lei[1] LI Chao-Xu[1] HUANG Shan-Chun[1] LIU Li[1] QIN Wei-Quan[1***]
PENG Zheng-Qiang[3] LUO You-Qing[2]

(1. Coconut Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wenchang 571339, China;
2. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
3. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China)

Abstract **[Objectives]** To evaluate an artificial diet for *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver. **[Methods]** *R. ferrugineus* were fed on the artificial diet for three generations, using royal palm and sugarcane as the control, and their developmental and reproductive indices at different stages were investigated. **[Results]** The results show that the developmental time of larvae and pupae fed on the artificial diet were 40.20 d and 33.99 d, significantly shorter than that of those fed on the control diets. Larval survival on the artificial diet was 63.87%, significantly higher than those raised on the control diets. Although there were no significant differences in fecundity and egg hatching rate among the three diets, pupal and adult weights were significantly lower than those of the two control groups; 25.55% and 63.87% lower for pupal weight and 24.18% and 35.16% for adult weight. **[Conclusion]** The results indicate that the artificial diet meets the nutritional requirements of *R. ferrugineus*,

* 资助项目：海南省重大科技项目（ZDZX2013008-2）；海南省重点科技计划（ZDXM20130049）；海南省自然科学基金（311091）；基本科研业务费（1630042014002）

**E-mail: andy206@126.com

***通讯作者，E-mail: qwq268@126.com

收稿日期：2013-11-20，接受日期：2014-03-13

shortening generation time and is suitable for large-scale and long-term rearing of this species.

Key words *Rhynchophorus ferrugineus*, artificial diet, mass rearing, feeding result

红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver 又名锈色棕榈象、椰子隐喙象、椰子甲虫、亚洲棕榈象甲、印度红棕象甲(鞠瑞亭等,2006;李磊等,2009),属鞘翅目 Coleoptera、象甲科 Curculionidae,是棕榈科植物的毁灭性大害虫。该虫主要以幼虫在寄主植物的叶柄基部和生长点附近的杆部钻蛀危害,受害症状初期不易发现,一旦发现,多无法挽救(覃伟权等,2002;朱辉等,2010)。因其具有传播途径广、适应能力强、入侵速度快、隐蔽性强、受害前期难发现,受害后期难治疗等特点,素有棕榈植物"癌症虫"之称。红棕象甲原产南亚和东南亚,自 20 世纪 80 年代开始迅速扩散,现已在北纬 35°至南纬 35°之间均有分布,已有各大洲报道中,除南极洲外均有该虫为害报道(Faleiro,2006;Li *et al.*,2009;Fiaboe *et al.*,2012),尤其在中东地区、东南亚和地中海沿岸国家危害严重(Murphy and Briscoe,1999;EPPO,2008)。我国于 20 世纪 90 年代末在广东中山首次发现红棕象甲(万方浩等,2005),随后该虫迅速扩散至海南、广西、福建、香港、上海、云南、台湾、贵州、江西、浙江、西藏(墨脱)、重庆 12 个省市、自治区,面积覆盖长江以南广大地区。鉴于红棕象甲对椰子,加拿利海枣、油棕等棕榈科植物安全生产的重大威胁,该虫的研究受到广大关注,在生物学、生态学、化学和生物农药制剂的筛选、测定和入侵规律等方面的研究中需要大批量、发育一致的标准化供试虫源。目前,红棕象甲的饲养主要依靠甘蔗、香蕉、土豆或棕榈科植物等天然饲料,由于甘蔗、土豆和香蕉受生长季节限制且易腐烂变质,棕榈植物价格昂贵且饲养难度较大,试虫易感染病原菌,难以实现红棕象甲长期、规模化、继代饲养。因此研制红棕象甲人工饲料及其关键饲养技术,实现该虫长期、规模化、继代饲养就成为红棕象甲综合防治技术研究的重要内容。

20 世纪 70 年代末以来,国外陆续开展红棕象甲人工饲养技术研究。Rahalkar 等(1978)发明了甘蔗渣半合成人工饲料,并成功饲养了多个世代。Salama 和 Abdel-Razek(2002)发明了棕榈植物树干粉半合成人工饲料,该配方饲养的红棕象甲世代历期 86~105 d,雌雄成虫寿命分别为 84~108 d 和 47~87 d,成虫单雌产卵量平均 184 粒,卵孵化率达 94%。Poorjavad 等(2009)发明了土豆粉+胡萝卜粉半合成人工饲料,用该配方饲料饲养的红棕象甲世代历期 50~101 d,雌雄成虫寿命分别为 71~90 d 和 54~73 d,成虫单雌产卵量平均 87.3 粒,卵孵化率 76.7%。王凤等(2009)用甘蔗饲养红棕象甲,世代历期平均 130.8 d,雌雄成虫寿命分别为 157.4 d 和 177.9 d,虫单雌产卵量平均 144.4 粒,卵孵化率 46.7%。

综上所述,上述研究工作一定程度上解决了科研工作中对红棕象甲标准化供试虫源的需求,但仍不能实现试虫高品质、规模化、周年继代饲养。为此,作者在前人研究的基础上对人工饲料配方进行优化,根据红棕象甲在天然寄主上的取食、存活和发育情况以及寄主植物获取难易度,研制出以大王棕老叶粉为主要成分的红棕象甲幼虫人工饲料及饲养技术,用该方法连续饲养红棕象甲 3 代,取得较好的饲养效果,现将研究结果报道如下。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

2009 年 8 月在海南省文昌市，从野外监测点采集诱捕到的红棕象甲成虫，作为原始虫源带回养虫室（温度（28 ±1）℃，光照 14L∶10D，湿度 75%±5%），置于广口瓶中，瓶内悬挂含 20%蜂蜜水的棉球供成虫取食和产卵。产卵后，用柔软的细毛笔将卵从棉球上挑出，浸入 0.05%的次氯酸钠溶液中消毒，然后将卵置于铺有湿滤纸的玻璃培养皿（直径 12 cm）内进行保湿并待其孵化，幼虫孵化后供试。幼虫饲养条件保持无光照，温度及湿度条件同成虫。

1.2　红棕象甲幼虫人工饲料各组分含量

人工饲料各组分含量按重量比计，各组分为：大王棕叶粉 70 g、燕麦粉 20 g、玉米粉 10 g，豆蛋白 15 g、葡萄糖 10 g、蔗糖 10 g、琼脂 10 g、酵母 5 g、韦氏盐 2 g、胆固醇 1 g、抗坏血酸 1 g、山梨酸钾 1 g、椰子油 2 g、蒸馏水 400 mL。

1.3　红棕象甲幼虫人工饲料配制方法

红棕象甲幼虫人工饲料配制过程如下：（1）将琼脂加入已煮沸的 350 mL 蒸馏水中，并搅匀，随后，将匀浆倒入盛有大王棕叶粉、燕麦粉、玉米粉，豆蛋白、葡萄糖、蔗糖、酵母的容器中，充分搅拌均匀后，得到混合物 A；（2）将称量好的韦氏盐、胆固醇、抗坏血酸、山梨酸钾溶于 50 mL 蒸馏水中，使其充分溶解，得到混合物 B；（3）待混合物 A 的温度降到 50℃以下时，将 B 组分加入 A 组分中，搅拌直至完全均匀；（4）将搅拌好的饲料倒入保鲜盒中，完全冷却凝固后存放于 4℃冰箱中备用。

1.4　红棕象甲人工饲养方法

红棕象甲人工饲养方法如下：（1）将出孵幼虫接入装有红棕象甲幼虫人工饲料的饲养杯内单头饲养直至成虫羽化，在整个幼虫饲养过程中调配饲料 5~7 次，最后一次调配饲料时，在饲料中添加椰纤维，辅助老熟幼虫做茧。饲养杯置于养虫架上，养虫室内环境保持温度（28 ±1）℃，无光照，湿度 75%±5%；（2）将羽化后的成虫配对，饲养方法、条件、卵和出孵幼虫的获取同 1.1。饲养过程中需保持无菌操作，严防昆虫病原菌的传播。

幼虫孵化后，按照上述步骤循环操作继代饲养，连续饲养 3 代，同时以整个世代在大王棕树干和甘蔗上饲养为对照。每处理 3 次重复，每次供试幼虫 40 头，每代饲养过程中，记录幼虫发育历期、存活率、化蛹率、蛹历期、羽化率、成虫寿命、单雌产卵量及卵孵化率。

1.5　数据处理与分析

应用 SPSS11.0version 统计软件对数据进行方差分析，平均值（±标准误）进行 LSD 检验，显著水平 $P < 0.05$。

2　结果与分析

用上述饲养方法继代饲养红棕象甲的效果见表 1。用红棕象甲人工饲料连续饲养红棕象甲 3 代，其平均幼虫历期为 40.20 d，平均幼虫存活率 63.87%，平均蛹重 2.74 g，平均蛹历期 33.99 d，平均羽化率 98.39%，平均成虫寿命 108.21 d，平均成虫体重 0.91 g，平均单雌产卵量 155.18 粒，平均卵孵化率 89.38%。连续饲养 3 代的结果表明，采用人工饲料饲养与用天然寄主饲养相比，红棕象甲的各项生长和发育指标，如幼虫历期、幼虫存活率、蛹历期、羽化率与用天然寄主

食料大王棕和甘蔗饲养的红棕象甲显著差异，且均优于天然寄主饲养的红棕象甲；在性比、单雌产卵量、卵孵化率方面与用天然寄主食料大王棕和甘蔗饲养的红棕象甲差异不显著；仅在蛹重、成虫体重、成虫寿命方面与用天然寄主食料大王棕和甘蔗饲养的红棕象甲显著差异，这可能与其相对较短的发育历期有关。由表 1 可知，用人工饲料与天然寄主的饲养效果相当，在幼虫历期、幼虫存活率、蛹历期、羽化率方面优于天然寄主的饲养效果。而且使用人工饲料饲养红棕象甲，操作简便、成本低、饲养周期短、存活率高、省时省力，是实现试虫高品质、规模化、周年继代饲养的有效方法。

3 讨论

综合考虑发育历期、幼虫存活率、单雌产卵量、饲养过程中人力物力的投入等因素，已报道的红棕象甲人工饲料配方存在的主要问题包括：（1）饲料中缺乏红棕象甲生长、发育和繁殖所需的关键营养因子，虽然有的饲料配方复杂、配置过程繁琐，但不能满足红棕象甲生长发育过程中对关键因子，致使成虫寿命、单雌产卵量和卵孵化率较低；（2）幼虫存活率低，红棕象甲幼虫存在高龄个体取食低龄个体的现象，所以本试验中红棕象甲幼虫在饲养盒中单头饲养（覃伟权，2011）；另一个造成幼虫存活率低的原因是，红棕象甲老熟幼虫有利用寄主的纤维结成长椭圆形的茧并在茧内化蛹的习性，而已报道的人工饲料中，在老熟幼虫期前没有加入辅助化蛹的材料，致使化蛹率低、即使化蛹，也畸形严重。

表 **1** 用人工饲料、大王棕和甘蔗连续饲养红棕象甲 **3** 代的效果比较

Table 1 Comparative performance of *Rhynchophorus ferrugineus* reared on artificial diet, royal palm and sugarcane in three successive generations

适合度指标 Fitness parameter	代次 Generation	人工饲料 Artificial diet	大王棕 Royal palm	甘蔗 Sugarcane
幼虫历期（d） Larval stage (d)	F_1	40.20±3.05a	59.30±2.91b	105.50±2.68c
	F_2	37.60±2.84a	62.10±1.79b	111.50±3.60c
	F_3	42.80±3.05a	61.20±2.46b	110.00±1.06c
幼虫存活率（%） Larvae survival rate (%)	F_1	63.77±2.35a	37.78±0.23b	49.47±0.52c
	F_2	62.82±1.05a	39.14±0.07b	48.26±2.31c
	F_3	65.01±0.93a	37.05±0.13b	48.08±0.67c
蛹重（g） Pupal weight (g)	F_1	2.63±0.20a	3.32±0.15b	4.34±0.61c
	F_2	2.86±0.17a	3.22±0.09b	4.38±0.26c
	F_3	2.74±0.25a	3.78±0.21b	4.74±0.18c
蛹历期（d） Pupae stage (d)	F_1	32.60± 3.81a	36.40±1.35b	46.30±2.26c
	F_2	37.82±1.17a	34.82±1.40b	39.55±1.63c
	F_3	31.55±2.44a	37.13±1.20b	42.26±3.33c
羽化率（%） Eclosion rate (%)	F_1	100.00±0.00a	83.45±0.66b	92.79±1.34c
	F_2	95.18±1.48a	87.08±1.38b	93.51±0.65a
	F_3	100.00±0.00a	84.55±1.67b	91.39±1.15c

成虫寿命（d） Longervity (d)	F_1	111.36±3.72a	118.55±10.65a	132.82±12.19b
	F_2	105.09±4.48a	120.55±11.45b	140.64±13.67c
	F_3	108.18±4.83a	110.27±10.73a	137.09±7.08b
成虫体重（g） Adult weight (g)	F_1	0.94±0.10a	1.19±0.27b	1.31±0.20b
	F_2	0.87±0.08a	1.12±0.19b	1.20±0.18b
	F_3	0.93±0.10a	1.07±0.11b	1.17±0.12c
性比 Sexual ratio	F_1	1.13±0.06a	1.11±0.02a	1.07±0.03a
	F_2	1.09±0.01a	1.09±0.03a	1.09±0.03a
	F_3	1.06±0.04a	1.08±0.02a	1.10±0.03a
单雌产卵量 Eggs per female	F_1	147.36±35.22a	151.36±28.92a	164.45±19.01a
	F_2	159.18±19.03a	144.35±33.88a	162.36±20.92a
	F_3	158.99±11.34a	153.24±14.14a	158.64±13.05a
卵孵化率（%） Egg hatching (%)	F_1	89.71±1.09a	90.05±0.99a	91.62±0.29a
	F_2	89.45±0.63a	88.23±1.35a	90.88±0.71a
	F_3	88.97±0.63a	88.20±0.77a	89.67±1.34a

表中数据为平均值±标准误，同行数据后标有不同字母表示经 LSD 检验后，差异显著（$P < 0.05$）。

Data in the table are mean±SE, and followed by different letters in the same row indicate significantly different by LSD test ($P < 0.05$).

本试验中，在幼虫达到 6 龄后，在人工饲料中混入椰纤维辅助老熟幼虫化蛹，化蛹率接近 100%。因此，对幼虫进行单头饲养，高龄幼虫期在人工饲料中混入椰纤维辅助化蛹，是提高红棕象甲幼虫存活率的关键环节。

本研究所研制的人工饲料配方中不但含有天然寄主大王棕，还加入燕麦、玉米和豆蛋白，不仅可为红棕象甲生长发育提供丰富的营养物质，同时在一定程度上能提高幼虫存活率、羽化率，缩短发育历期。饲料中还增加了幼虫喜食的蔗糖、葡萄糖，同时添加了取食刺激物椰子油，饲料的口感好，红棕象甲幼虫喜欢取食。本试验中，人工饲料的原材料均为常见的营养物质，易获取，来源广泛，饲料制作流程简便，易操作，保质期长，整个幼虫饲养阶段，仅需更换人工饲料 3~4 次，有效避免了频繁更换饲料，从而增加幼虫死亡率的风险。试验中人工饲料所用的大王棕叶粉为大王棕自然脱落的叶片经烘干粉碎后得来，避免了因使用自然寄主饲养，而频繁收集新鲜的寄主茎干(Rahalkar *et al.* ,1978 ;Poorjavad *et al.*，2009；王凤等，2009)，降低了饲养成本。

与利用甘蔗饲养红棕象甲相比，用甘蔗饲养红棕象甲，需要大量的甘蔗，而由于生长季节变化，无法周年大批量提供新鲜甘蔗，致使饲养量受限，且不能实现周年继代饲养。而本研究使用自然脱落的大王棕叶片，周年都可获取，大大节省了人力、物力。因此用该饲料饲养红棕象甲，经济、高效、实用性强，可实现标准化虫源大批量、周年饲养。

用人工饲料饲养的红棕象甲大部分生活史参数与 Kaakeh 在田间用自然寄主饲养的红棕象甲生活史参数相似(Kaakeh ,2005)。Giblin-Davis

等(1989)研究发现成虫的体重与成虫的产卵量及卵的孵化率没有直接关系,这与我们对红棕象甲的研究结果一致。以上说明用该人工饲料饲养红棕象甲是可行的。

本研究仅进行了3代继代饲养,如果进行多代饲养后,饲养效果如何?是否会出现种群退化的现象?试验中发现初孵幼虫的存活率偏低,大约60%左右,如何提高初孵幼虫的存活率?老熟幼虫阶段,如果不提供椰衣纤维辅助老熟幼虫做茧化蛹,蛹期就会延长。这些问题还有待进一步研究。下一步的研究重点应集中在人工饲料配方的优化及提高初孵幼虫的存活率,以期进一步降低饲养成本,实现红棕象甲的规模化、长期饲养。

参考文献 (References)

European and Mediterranean plant protection organization (EPPO), 2008. Data sheets on quarantine pests—*Rhynchophorus ferrugineus*. *EPPO Bull.*, 38: 55–59.

Faleiro JR, 2006. A review of the issues and management of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in coconut and date palm during the last one hundred years. *International. J. Trop. Insect Sci.*, 26(3): 135–154.

Fiaboe KKM, Peterson AT, Kairo MTK, Roda AL, 2012. Predicting the potential worldwide distribution of the red Ppalm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) using ecological niche modeling. *Fla. Entomol.*, 95(3): 659–673.

Giblin-Davis RM, Gerber K, Griffith R, 1989. Laboratory rearing of *Rhynchophorus cruentatus* and *R. palmarum* (Curculionidae: Coleoptera). *Fla. Entomol.*, 72(3): 480–488.

Kaakeh W, 2005. Longevity, fecundity, and fertility of the red palm weevil, *Rynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera: Curculionidae) on natural and artificial diets. *Emir. J. Agric. Sci.*, 17(1): 23–33.

Li YZ, Zhu ZR, Ju RT, Wang LS, 2009. The red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae), newly reported form zhejiang, China and update of geographical distruibution. *Fla. Entomol.*, 92(2): 386–387.

Murphy ST, Briscoe BR, 1999. The red palm weevil as an alien invasive: biology and the prospects for biological control as a component of IPM. *Biocontrol. News Inf.*, 20(1): 35–46.

Poorjavad N, Goldansaz SH, Kharazi-Pakdel A, Faghih AA, 2009. Laboratory rearing and some biological character of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Curculionidae: Coleoptera) on semi-artificial diet. *Appl. Entomol. Phytopathol.*, 77(1): 79–91.

Rahalkar GW, Tamhankar AJ, Shantaram K, 1978. An artificial diet for rearing red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. *J. Plantation Crops*, 6: 61–64.

Salama HS, Abdel-Razek AS, 2002. Development of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) (Curculionidae: Coleoptera) on natural and synthetic diets. *J. Pest Sci.*, 75 (5): 137–139.

鞠瑞亭, 李跃忠, 杜予州, 池杏珍, 严巍, 徐颖, 2006. 警惕外来危险害虫红棕象甲的扩散. 昆虫知识, 43(2): 159–163.[JU RT, LI YZ, DU YZ, CHI XZ, YAN W, XU Y, 2006. AIert to spread 0f an invasive alien species , red palm weevil , *Rhynchophorus ferrugineus*. *Chinese Buuetin of Emomology*, 43(2): 159–163.]

李磊, 覃伟权, 黄山春, 魏娟, 马子龙, 2009. 室内饲养红棕象甲的行为观察. 昆虫知识, 46(6): 926–929. [LI L, QIN WQ, HUANG SC, WEI J, MA ZL, 2009. Behavior of artifical rearing of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. *Chinese Buuetin of Emomology*, 46(6): 926–929]

覃伟权, 阎伟, 刘丽, 黄山春, 张晶, 2011. 可大量饲养红棕象甲幼虫的可拆卸饲养盒. 中国,实用新型专利, ZL2011 2 0034936.8. 2011-09-07. [QIN WQ, YAN W, LIU L, HUANG SC, ZHANG J, 2011. A removable feeding box of large-scale breeding red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. China, Utility model patents, ZL2011 2 0034936.8. 2011-09-07.]

覃伟权, 赵辉, 韩超文, 2002. 红棕象甲在海南发生为害规律及其防治. 云南热作科技, 25(4): 29–30. [QIN WQ, ZHAO H, HAN CW, 2002. The working rule of Rhynchophorusferrugineus and the control. *Journal of Yunnan Tropical Crops Science and Technology*, 25(4): 29–30.]

万方浩, 郑小波, 郭建英. 2005. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制. 北京:科学出版社. 388–398. [WAN FH, ZHENG XB, GUO JY. 2005. Biology and Management of Invasive Alien Species in Agriculture and Forestry. Beijing: Science Press. 388–398.]

王凤, 鞠瑞亭, 李跃忠, 徐颖, 池杏珍, 张辉, 2009. 利用甘蔗饲养红棕象甲的技术. 昆虫知识, 46(6): 967–969. [WANG F, JU RT, LI YZ, XU Y, CHI XZ, ZHANG H, 2009. Technique for rearing Rhynchophorus ferrugineus on sugarcane. *Chinese Buuetin of Emomology*, 46(6): 967–969.]

朱辉, 覃伟权, 黄山春, 阎伟, 孙晓东, 2010. 一株红棕象甲寄生真菌的分离鉴定. 植物保护学报, 37(4): 36–340. [ZHU H, QIN

WQ, HUANG SC, YAN W, SUN XD, 2010. Isolation and identification of an entomopathogenic fungus strain of *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver. Journal of Plant Protection, 37(4): 36−340.]