

长期饲喂不同类型椰子叶片对 椰心叶甲生长发育的影响*

黄盛茂^{1**} 龚 治^{2,3} 马光昌^{2,3} 温海波^{2,3} 彭正强^{2,3***}

(1. 海南大学林学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 571101;
3. 农业部热带作物有害生物综合治理重点实验室, 海口 571101)

摘 要 【目的】研究不同生长阶段的椰子叶片对椰心叶甲 *Brontispa longissima* Gestro 生长发育的影响。【方法】选用椰子心叶、椰子半展叶和椰子全展叶长期饲养椰心叶甲, 并比较驯化后椰心叶甲种群的发育历期、繁殖力和种群趋势指数的差异。【结果】用椰子心叶和椰子全展叶长期饲养的椰心叶甲种群在卵长度 ($P=0.005<0.01$) 和蛹重上差异显著 ($P<0.01$)。从整个幼虫发育历期来看, 椰子心叶、椰子半展叶和椰子全展叶驯化种群的幼虫发育历期分别为 41.45、40.61 和 36.38 d, 椰子全展叶驯化种群的幼虫发育历期最短; 椰子心叶驯化种群的交配产卵前期显著短于椰子半展叶和椰子全展叶驯化种群 ($P<0.05$); 椰子半展叶驯化种群的平均产卵量最多, 为 161.78 粒, 其次是椰子全展叶种群的 147.33 粒, 最少的是椰子心叶驯化种群, 其平均产卵量为 112.60 粒。用椰子心叶、椰子半展叶和椰子全展叶长期驯化种群的种群趋势指数分别是 24.79、35.86 和 45.94。【结论】长期饲喂不同生长阶段的椰子叶片对椰心叶甲的生长发育有显著性影响, 其中椰子全展叶驯化种群的发育历期最短, 存活率最高, 种群趋势指数最高。椰子全展叶是最适合椰心叶甲的生长发育的叶片。

关键词 椰心叶甲; 发育历期; 实验种群生命表; 食物驯化; 产卵量

Effects of feeding *Brontispa longissima* coconut leaves at different growth stages on the growth and development of this pest

HUANG Sheng-Mao^{1**} GONG Zhi^{2,3} MA Guang-Chang^{2,3}
WEN Hai-Bo^{2,3} PENG Zheng-Qiang^{2,3***}

(1. College of Forestry of Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 3. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture, Haikou 571101, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the effects of feeding *Brontispa longissima* coconut leaves at three different growth stages on their growth and development. 【Methods】Groups of *B. longissima* were fed either unopened coconut fronds, half-opened fronds or opened fronds, and differences in their developmental duration, fecundity and population trend index were measured and compared. 【Results】There were significant differences in egg length and pupal weight between *B. longissima* that were fed unopened fronds compared to those fed opened fronds. Larval development periods were 41.45 d for *B. longissima* fed unopened fronds, 40.61 d for those fed half-opened fronds and 36.38 d for those fed opened fronds. The pre-oviposition period of *B. longissima* fed on unopened fronds was significantly shorter than that of those fed half-opened fronds or unopened fronds. The highest average fecundity (161.78) was recorded in *B. longissima* fed half-opened fronds, the second highest (147.33) in those fed opened fronds and the lowest (112.60) in those fed unopened fronds. The population trend

*资助项目 Supported projects: 中国热带农业科学院基本科研业务费专项 (1630042019029); 海南省重大科技项目子课题 (ZDKJ201817-1-1-2)

**第一作者 First author, E-mail: 758256967@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lypzhq@163.com

收稿日期 Received: 2021-04-08; 接受日期 Accepted: 2021-06-15

index of *B. longissima* fed unopened fronds, half-opened fronds or opened fronds was 24.79, 35.86 and 45.94, respectively.

[Conclusion] The growth stage of coconut leaves provided to *B. longissima* had a significant effect on the growth and development of this species. *B. longissima* fed opened fronds had the shortest developmental period, the highest survival rate and the highest population trend index. Opened coconut fronds are a more suitable food than unopened or half-opened fronds for *B. longissima*.

Key words *Brontispa longissima*; developmental duration; life table of experimental population; food domestication; fecundity

椰心叶甲 *Brontispa longissima* Gestro 属鞘翅目 Coleoptera 铁甲科 Hispididae, 是我国禁止入境的二类危险性检疫害虫, 主要危害棕榈科植物的幼嫩心叶, 严重时可能造成整株植株死亡(陈世襄, 1986; 钟义海等, 2003; 方剑锋等, 2004; 张志祥等, 2004)。自 2002 年大规模入侵海南以来(吕宝乾等, 2012; 张波等, 2015), 给海南及广东等地的椰子 *Cocos nucifera* 等棕榈植物造成了巨大的危害, 经济损失上亿元(陈义群等, 2004a)。目前, 椰心叶甲的主要防治措施是采取以生物防治为主, 化学防治为辅的综合防控技术(彭正强等, 2019)。其生物防治主要以引进的天敌寄生蜂椰心叶甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae* Ferriere 和椰甲截脉姬小蜂 *Asecodes hispinarum* Bouek 为主。当前, 该 2 种寄生蜂的规模化饲养需要大量椰心叶甲。由于椰心叶甲人工饲料尚不成熟, 所以无法在实际生产中大量运用, 椰心叶甲的规模化扩繁主要依赖椰子树心叶。而单株椰子树每年只生长 12-14 片叶, 即每株每月约长出 1 片叶子(王萍等, 2014)。因此, 若能用数量更多的椰子完全展开叶饲养椰心叶甲, 则能节约大量饲养成本, 同时也减少对椰子树心叶的需求。然而, 利用椰子完全展开叶饲养椰心叶甲的相关研究鲜有报道。

研究发现不同寄主植物能对椰心叶甲生长发育造成影响, 导致椰心叶甲在不同寄主上的发育历期不同(曾玲等, 2003; 李亚等, 2007; 李艺琼, 2017)。曾玲等(2003)研究了椰心叶甲取食椰子、大王椰子 *Roystonea regia* 和散尾葵 *Chrysalidocarpus lutescens* 叶片后的生长发育情况, 发现取食椰子叶的椰心叶甲幼虫历期长于取食大王椰子叶和散尾葵叶的, 而取食椰子叶的椰心叶甲成虫寿命、单雌产卵量和实验种群趋势指数均优于取食大王椰子叶和散尾葵叶的。李亚等

(2007) 研究发现取食老人葵 *Washingtonia filifera* 叶的椰心叶甲卵期最短, 而取食酒瓶椰子 *Hyophorbe lagenicaulis* 叶的则最长; 而取食大王椰子叶的椰心叶甲蛹期最短, 而取食椰子叶的则最长。另外, 同一寄主的不同部位的叶片对椰心叶甲的影响也不一样。椰子叶片的生长阶段对椰心叶甲幼虫存活率、各龄期化蛹百分比、幼虫发育历期、幼虫生长发育状态、生殖力、室内种群生命表等各项生育指标均产生明显影响(李亚和程立生, 2009)。这些研究中的椰心叶甲均以短期饲喂为主。然而, 长期饲喂椰心叶甲对其生长发育的影响则尚未被研究。

因此, 本研究在实验室条件下, 选用 3 种不同生长阶段的椰子叶片(即椰子心叶、椰子半展开叶、椰子全展叶)长期饲养驯化椰心叶甲 50 代, 以明确长期饲喂不同生长阶段的叶片对其生长发育的影响, 进而为椰心叶甲的大规模饲养提供一种方法, 也为昆虫长期食物驯化研究提供数据资料。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

本研究中所用椰心叶甲均来自中国热带农业科学院环境与植物保护研究所室内分别用椰子心叶、椰子半展开叶和椰子完全展开叶繁育 50 代的健康种群, 以下简称为椰子心叶种群、椰子半展叶种群和椰子全展叶种群, 饲养温度为 $(26 \pm 2)^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $75\% \pm 5\%$ 。实验仪器为上海精科万分之一电子天平, 超景深三维显微系统(型号: VHX-900, 生产商: Keyence)

1.2 实验方法

1.2.1 长期饲喂不同生长阶段的椰子叶片对椰

心叶甲发育历期的影响 收集椰子心叶种群、椰子半展叶种群和椰子全展叶种群的卵各 100 粒, 分别置于预先放有椰子心叶、椰子半展叶和椰子全展叶的培养皿中, 每个培养皿放一粒卵, 每 3 d 换 1 次新鲜叶片。每天早上观察并记录卵的孵化、幼虫蜕皮(虫龄的判断以蜕皮次数为依据)、化蛹和羽化时间, 统计卵的历期、各龄幼虫历期和蛹历期, 并构建发育历期表。

1.2.2 长期饲喂不同生长阶段的椰子叶片对椰心叶甲繁殖力的影响 分别将椰子心叶种群、椰子半展叶种群和椰子全展叶种群 12 h 内羽化的 30 对雌雄成虫进行配对, 放入培养皿中, 饲喂其相应的椰子叶片。每天上午观察, 记录交配后第一次产卵的时间、产卵总量和雌成虫死亡时间, 计算交配产卵的产卵前期、产卵量和雌成虫寿命。另外, 分别取刚羽化的雌虫用上述 3 种叶片单独饲养, 记录单雌的产卵前期。

1.2.3 长期饲喂不同生长阶段的椰子叶片后的椰心叶甲实验种群生命表 分别取 1.2.2 中 3 种椰子不同生长阶段叶片种群的椰心叶甲卵各 100 粒, 放入饲养盒中, 饲养方法同 1.2.1, 统计卵的孵化数、各龄幼虫的存活数、蛹的羽化率、雌成虫数量和产卵量。计算卵和各龄幼虫的存活率, 计算蛹的孵化率、成虫雌性比例、达标准产卵量的概率和种群趋势指数, 制作实验种群生命表。

1.3 数据分析

采用 SPSS 25.0 软件计算各组数据的平均值和标准误, 并进行方差分析 (ANOVA), 利用 Duncan's 新复极差法检验各组数据差异显著性。

2 结果与分析

2.1 长期饲喂不同生长阶段的椰子叶片对椰心叶甲发育历期的影响

长期饲喂不同生长阶段的椰子叶片可显著影响椰心叶甲的卵发育历期 ($P=0.023$) (表 1), 其中半展叶种群的卵发育历期为 (5.12 ± 0.04) d, 显著短于全展叶种群 (5.33 ± 0.06) d ($P=0.014<0.05$)。另外, 不同生长阶段的椰子叶片对椰心叶

甲的幼虫发育历期也有显著影响 (表 1)。椰子全展叶种群的幼虫发育历期为 (36.38 ± 0.86) d, 显著短于椰子半展叶种群 (40.61 ± 1.00) d ($P=0.002<0.01$) 和椰子心叶种群 (41.45 ± 1.01) d ($P=0.001<0.01$), 后二者之间差异不显著 ($P=0.83>0.05$)。其中, 1 龄幼虫发育历期最短的为心叶种群 (4.63 ± 0.09) d, 与半展叶种群 (6.50 ± 0.19) d 和全展叶种群 (7.22 ± 0.14) d 差异显著 ($P<0.01$); 2 龄幼虫发育历期最短的为心叶种群 (5.67 ± 0.12) d, 与半展叶种群 (7.13 ± 0.29) d 和全展叶种群 (6.11 ± 0.12) d 差异显著 ($P=0.0001<0.01$, $P=0.009<0.01$), 后二者也有差异显著性 $P=0.004<0.01$; 3 龄幼虫发育历期最长的为半展叶种群 (8.18 ± 0.24) d, 与心叶种群 (7.24 ± 0.20) d 和全展叶种群 (7.13 ± 0.18) d 差异显著 ($P=0.006<0.01$, $P=0.003<0.01$); 4 龄幼虫发育历期最短的为半展叶种群 (11.95 ± 0.80) d, 与心叶种群 (17.93 ± 0.98) d 和全展叶种群 (14.43 ± 0.26) d 差异显著 ($P=0.0001<0.01$, $P=0.014<0.05$), 后二者差异显著 ($P=0.002<0.01$); 5 龄幼虫发育历期最长的为心叶种群 (23.62 ± 1.39) d, 与半展叶种群 (16.42 ± 0.98) d 和全展叶种群 (15.86 ± 0.40) d 存在差异显著性 ($P=0.026<0.05$), 后二者无差异显著性。3 种不同类型叶片对椰心叶甲的蛹及成虫发育历期没有显著影响 ($P>0.05$)。

由此可见, 椰子心叶种群在幼虫发育前期 (1-2 龄) 生长较快, 而椰子全展叶种群则在幼虫发育后期 (4-5 龄) 生长较快。而从整个幼虫期来看, 椰子全展叶种群的幼虫历期明显短于椰子心叶种群。

2.2 长期饲喂不同生长阶段的椰子叶片对椰心叶甲卵大小的影响

经过长期饲喂椰子不同生长阶段叶片后, 椰心叶甲卵的长度发生变化, 但卵的宽度不发生变化。如图 1 所示, 椰子心叶种群的卵长为 (1.33 ± 0.01) mm, 半展叶种群的卵长为 (1.36 ± 0.01) mm, 全展叶种群的卵长为 (1.38 ± 0.01) mm, 其中心叶种群与全展叶种群的卵长具有显著性差异 ($P=0.005<0.01$)。

表 1 长期饲喂椰子不同生长阶段叶片的椰心叶甲各虫态发育历期 (海南, 海口)
Table 1 The developmental duration of *Brontispa longissima* feeding different growth stages coconut leaves for long-term (Haikou, Hainan)

虫期 Stage	食物类型 Type of food		
	椰子心叶 Unopened fronds of coconuts	椰子半展开叶 Half-opened fronds of coconuts	椰子全展开叶 Opened fronds of coconuts
卵 Egg	5.30±0.07ab	5.12±0.04a	5.33±0.06b
1 龄幼虫 1st instar larva	4.63±0.09a	6.50±0.19b	7.22±0.14c
2 龄幼虫 2nd instar larva	5.67±0.12a	7.13±0.29b	6.11±0.12c
3 龄幼虫 3rd instar larva	7.24±0.20a	8.18±0.24b	7.13±0.18a
4 龄幼虫 4th instar larva	17.92±1.02a	11.95±0.80b	14.43±0.26c
5 龄幼虫 5th instar larva	23.62±1.39a	16.79±1.89b	15.86±0.40b
整个幼虫期 The whole larval period	41.45±1.01a	40.61±1.00a	36.38±0.86b
蛹 Pupal	6.46±0.18a	6.90±0.09a	6.83±0.17a
成虫期 Adult duration	197.86±11.56a	207.14±15.96a	217.93±7.43a

表中数据为平均值±标准误。同行数值后标有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。
Data in the table are mean±SE, and followed by the different lowercase letters after peer numerical values indicate significant differences at the 0.05 level. The same below.

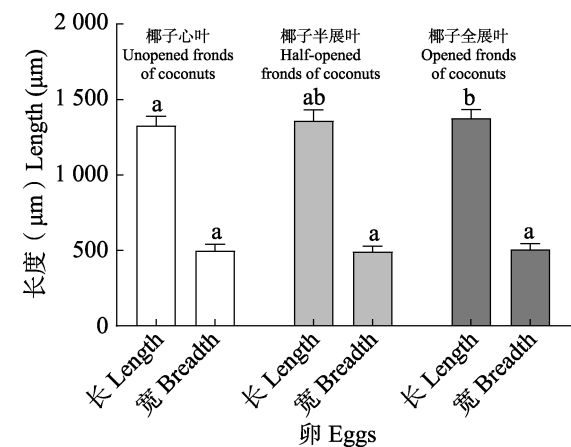


图 1 长期饲喂椰子不同生长阶段叶片对椰心叶甲卵大小的影响
Fig. 1 Effects of long-term feeding of different growth stages coconut leaves on the egg size of *Brontispa longissima*
柱上标有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下图同。
Histogtams with different small letters indicate significantly different at the level of 0.05. The same below.

2.3 长期饲喂不同生长阶段的椰子叶片对椰心叶甲蛹重的影响

饲喂不同生长阶段的椰子叶片后, 椰子全展开叶种群的平均蛹重为 (23.16±0.59) mg, 椰子半展开叶种群的平均蛹重为 (17.26±0.45) mg, 椰子

心叶种群平均蛹重 (16.02±0.53) mg; 全展开叶种群平均蛹重显著重于心叶种群 ($P<0.01$) 和半展开叶种群 ($P<0.01$), 后二者间没有显著性 ($P=0.239>0.05$) (图 2)。

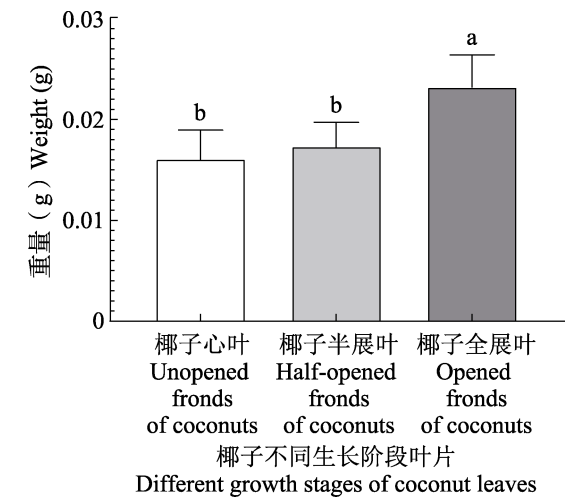


图 2 长期饲喂不同生长阶段的椰子叶片对椰心叶甲蛹重的影响
Fig. 2 Effects of long-term feeding of different growth stages coconut leaves on the pupae weight of *Brontispa longissima*

2.4 长期饲喂椰子不同生长阶段叶片对椰心叶甲繁殖力的影响

长期饲喂椰子不同生长阶段叶片对椰心叶

甲的产卵前期及产卵量产生影响,但不影响单雌产卵前期和雌虫成虫寿命。由表 2 可知,椰子心叶种群的产卵前期为 (23.80±0.82) d,显著短于椰子半展叶种群 (27.20±0.92) d 和椰子全展叶种群 (26.30±0.79) d。椰子半展叶种群的平均产卵量最高,为 (161.78±13.15) 粒,显著高于心叶种群 (112.60±10.58) 粒和全展叶种群 (147.33±12.41) 粒,后二者之间没有差异显著性 ($P=0.059>0.05$)。不同生长阶段的椰子叶片对椰心叶甲雌成虫的寿命没有显著影响 ($P=0.312>0.05$)。

2.5 长期饲喂椰子不同生长阶段叶片后的椰心叶甲实验种群生命表

从表 3 可以看出,椰子全展叶种群的卵孵化率最高,为 88%;椰子半展开叶种群次之,为 87%;而椰子心叶种群的卵孵化率最低,仅为 80%。在 1 龄和 2 龄幼虫阶段,椰子心叶种群的存活率为 95%,高于椰子半展叶种群和椰子全展叶种群;而到了 4 龄和 5 龄幼虫阶段,椰子全展叶种群的存活率显著上升,达到 96%,高于椰子心叶种群和椰子半展叶种群。椰子全展叶种群的

表 2 长期饲喂椰子不同生长阶段叶片对椰心叶甲繁殖力的影响
Table 2 Effects of long-term feeding of different growth stages coconut leaves on the fecundity of *Brontispa longissima*

食物类型 Food type	产卵前期 (d) Pre-oviposition (d)		产卵量 (粒) Fecundity (grains)	雌成虫寿命 (d) Longevity of female adults (d)
	单雌产卵 Single female spawning	交配产卵 Mating and oviposition		
椰子心叶 Unopened fronds of coconuts	28.52±0.77a	23.80±0.82a	112.60±10.58a	196.52±15.81a
椰子半展开叶 Half-opened fronds of coconuts	27.40±0.96a	27.20±0.92b	161.78±13.15b	211.60±14.95a
椰子全展开叶 Opened fronds of coconuts	27.46±0.64a	26.30±0.79b	147.33±12.41b	217.71±14.05a

表 3 长期饲喂椰子不同生长阶段叶片后椰心叶甲的实验种群生命表
Table 3 Life table of experimental population of *Brontispa longissima* after long-term feeding of different growth stages coconut leaves

虫期 Stage	作用因子 Action factor	存活率或生殖力 Survival or fecundity		
		椰子心叶 Unopened fronds of coconuts	椰子半展开叶 Half-opened fronds of coconuts	椰子全展开叶 Opened fronds of coconuts
卵 Egg	不孵 No incubation	0.80	0.87	0.88
1 龄幼虫 1st instar larvae	自然死亡 Natural death	0.96	0.93	0.89
2 龄幼虫 2nd instar larvae	自然死亡 Natural death	0.95	0.91	0.90
3 龄幼虫 3rd instar larvae	自然死亡 Natural death	0.92	0.93	0.94
4 龄幼虫 4th instar larvae	自然死亡 Natural death	0.82	0.91	0.96
5 龄幼虫 5th instar larvae	自然死亡 Natural death	0.98	0.97	1.00
蛹 Pupa	自然死亡 Natural death	0.98	0.98	1.00
	雌性比例 Female ratio	0.53	0.52	0.57
成虫 Adult	标准卵量 Standard spawning volume	100	100	100
	达标准卵量的概率 Probability of reaching the standard egg size	0.77	0.80	0.86
种群趋势指数 Population trend index	—	24.79	39.86	45.94

蛹羽化率最高, 达到了 100%, 而椰子心叶种群和椰子半展叶种群均为 98%。椰子全展叶种群的羽化成虫雌性比例为 57%, 高于椰子心叶种群的 52% 和椰子半展叶种群的 53%。

椰子全展叶种群的种群趋势指数最高, 为 45.94, 其次是椰子半展叶种群的 39.86, 而椰子心叶种群的种群趋势指数最低, 为 24.79。这表明在无外界因素干扰下, 椰子全展开叶要比椰子心叶更能促进椰心叶甲种群的增长。

3 讨论

本研究以不同生长阶段的椰子叶片饲喂椰心叶甲, 用椰子心叶、椰子半展叶和椰子全展叶长期驯化后, 其相应的种群趋势指数分别为 24.79、39.86 和 45.94, 表明 3 种叶片长期驯化的椰心叶甲种群都呈暴发趋势。对 3 种叶片种群进行进一步比较发现, 椰子全展叶种群的低龄幼虫 (1-2 龄幼虫) 发育历期长于椰子心叶种群, 其死亡率也更高, 表明椰子心叶更适合椰心叶甲低龄幼虫; 但在高龄幼虫 (3-5 龄幼虫), 椰子全展叶种群的发育历期最短, 且存活率最高, 在加上椰子全展叶种群的卵孵化率及种群趋势指数也最高, 表明椰子全展叶更适合椰心叶甲的生长发育, 应是椰心叶甲最适取食叶片。

通常情况下, 昆虫的发育历期和存活率与昆虫的取食喜好相关, 即取食喜好食物的昆虫拥有更高的存活率以及更短的发育历期 (陈永兵等, 1999)。徐婷婷 (2014) 在测定不同生育期叶片对瓜型棉蚜的影响实验中, 发现瓜型棉蚜对不同生长阶段棉花植株的利用能力不同, 瓜型棉蚜不能在棉株的幼嫩叶片上存活, 长势不旺的衰老叶片有利于瓜型棉蚜的取食利用。李艺琼 (2017) 通过短期驯化发现取食完全展开叶的椰心叶甲幼虫期最短, 表明椰树完全展开叶是更适合的寄主叶片。这与本研究的结果相一致。然而在野外情况下, 椰心叶甲成虫和幼虫均喜爱取食椰子心叶 (陈义群等, 2004a; 伍筱影等, 2004; 周荣等, 2004)。这些研究结果与本研究得出的椰子全展叶更适合椰心叶甲生长发育的结论有所矛盾。经过长期饲喂不同生长阶段椰子叶片后, 在

3 种不同阶段叶片上的椰心叶甲的发育历期和幼虫存活率之间的差异变得更加明显。这可能是椰心叶甲对环境适应性的具体表现。因为风、雨和光照等气候条件以及天敌的影响, 椰心叶甲在野外不能长时间或无法很好地攀附于椰子全展叶上进行取食和产卵; 另外, 椰心叶甲具有负趋光性, 见光便迅速寻找避光处躲避 (周荣等, 2004), 故而在闭合的椰子心叶内取食和繁殖显然更加安全。然而, 实验室内没有外界环境因素的干扰, 这为椰心叶甲取食椰子全展叶提供了契机和可能。椰子全展叶的营养更加丰富, 除水分外, 其蔗糖、淀粉、蛋白质和脂肪含量均显著高于椰子心叶和椰子半展叶 (李艺琼等, 2017)。因此, 我们认为椰子全展叶更易受到椰心叶甲的喜好。此外, 本研究还发现椰子心叶种群的低龄幼虫发育历期更短, 存活率更高, 而高龄幼虫的情况则相反。这与李亚和程立生 (2009) 在椰子心叶和成熟叶片对椰心叶甲生育指标的影响中的研究结果相一致。椰心叶甲低龄幼虫的口器不发达, 可能更适合取食幼嫩的心叶; 而高龄幼虫的口器要发达完善一些, 故取食椰子全展叶不会有影响。

本研究没有进行光照等因素对长期饲喂不同生长阶段叶片后的椰心叶甲种群的影响。因此无法得知光照是否是椰心叶甲野外种群只取食危害椰子心叶的原因之一。另外, 本研究未对椰心叶甲实验室种群与椰心叶甲野外种群在生长发育上的差异进行对比研究。这些均是椰心叶甲后续研究的重要内容。

总体来说, 在实验室条件下, 本研究选用椰子心叶、椰子半展叶和椰子全展叶饲养驯化椰心叶甲, 证明了长期的食物驯化对椰心叶甲的生长、发育和繁殖都有很大的影响, 为昆虫的长期驯化提供了佐证, 同时也说明了用椰子全展叶代替椰子心叶进行椰心叶甲的大规模饲养是可行的, 但长期驯化后的椰心叶甲是否适合用来饲养寄生蜂, 能否大规模运用到实际生产中还需进一步的实验研究。

参考文献 (References)

- Chen SX, 1986. Zoology of China-Insecta, Coleoptera, Coleoptera. Beijing: Science Press. 87-88. [陈世骧, 1986. 中国动物志-昆

- 虫纲,鞘翅目,铁甲科. 北京: 科学出版社. 87–88.]
- Chen YB, Zhang CZ, Hu LQ, 1999. Effects of host plants on the growth and development of *Spodoptera exigua*. *Entomological Knowledge*, 36(6): 332–334. [陈永兵, 张纯胃, 胡丽秋, 1999. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育的影响. 昆虫知识, 36(6): 332–334.]
- Chen YQ, Huang HH, Wang SM, 2004a. Research progress of *Brontispa longissima*. *Tropical Forestry*, 32(3): 25–30. [陈义群, 黄宏辉, 王书秘, 2004b. 椰心叶甲的研究进展. 热带林业, 32(3): 25–30.]
- Chen YQ, Huang HH, Lin MG, Wang SM, Peng ZQ, Lü BQ, 2004b. Occurrence and control of *Brontispa longissima* in foreign countries. *Plant Quarantine*, 18(4): 250–253. [陈义群, 黄宏辉, 林明光, 王书秘, 彭正强, 吕宝乾, 2004a. 椰心叶甲在国外的发生及防治. 植物检疫 18(4): 250–253.]
- Fang JF, Yun CJ, Jin Y, Huang W, Li SB, 2004. Advances in the biology research of coconut leaf beetle *Brontispa longissima* (Gestro) and its control. *Plant Protection*, 30(6): 19–23. [方剑锋, 云昌均, 金扬, 黄伟, 李时斌, 2004. 椰心叶甲生物学特性及其防治研究进展. 植物保护, 30(6): 19–23.]
- Li Y, Cheng LS, 2009. Effects of unsprayed and mature leaves of *Cocos nucifera* on fertility indicators of *Brontispa longissima* (Gestro). *Natural Science Journal of Hainan University*, 27(3): 252–255, 258. [李亚, 程立生, 2009. 椰子心叶和成熟叶片对椰心叶甲生育指标的影响. 海南大学学报(自然科学版), 27(3): 252–255, 258.]
- Li Y, Cheng LS, Peng ZQ, Ju RT, Wan FH, 2007. Effects of host plants on development and fecundity of *Brontispa longissima* (Gestro). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(9): 2050–2054. [李亚, 程立生, 彭正强, 鞠瑞亭, 万方浩, 2007. 寄主植物对椰心叶甲生长发育和繁殖力的影响. 应用生态学报, 18(9): 2050–2054.]
- Li YQ, 2017. The effect of palm tree leaves on growth index and midgut digestive enzyme activity of *Brontispa longissima* with different growth phases. Master dissertation. Haikou: Hainan University. [李艺琼, 2017. 不同生长阶段椰树叶片对椰心叶甲发育指标及消化酶活性的影响. 硕士论文. 海口: 海南大学.]
- Li YQ, Yao YX, Peng ZQ, Lü BQ, Jin QA, Wen HB, 2017. Effects of coconut leaves at different growth stages on digestive enzyme activities in middle intestine of *Brontispa longissima*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 45(7): 94–97. [李艺琼, 姚羽芯, 彭正强, 吕宝乾, 金启安, 温海波, 2017. 不同生长阶段椰树叶片对椰心叶甲中肠消化酶活性的影响. 江苏农业科学, 45(7): 94–97.]
- Lv BQ, Jin QA, Wen HB, Peng ZQ, Du YZ, 2012. Current status of *Brontispa longissima* outbreaks and control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1708–1715. [吕宝乾, 金启安, 温海波, 彭正强, 杜予州, 2012. 入侵害虫椰心叶甲的研究进展. 应用昆虫学报, 49(6): 1708–1715.]
- Peng ZQ, Lü BQ, Qin WQ, Li CX, Wen HB, 2019. Ecology basis and control technology system of invasion and outbreak of alien pest *Brontispa longissima* (Gestro). *Journal of South China Agricultural University*, 40(5): 161–165. [彭正强, 吕宝乾, 覃伟权, 李朝绪, 温海波, 2019. 外来害虫椰心叶甲入侵灾变的生态学基础及控制技术体系. 华南农业大学学报, 40(5): 161–165.]
- Xu TT, 2014. Capacity of cucurbit-specialized aphid *Aphis gossypii* to use cotton with different growth stages or infested with whitefly. Master dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [徐婷婷, 2014. 瓜型棉蚜利用不同生育期及受烟粉虱为害后棉花的能力. 硕士论文. 南京: 南京农业大学.]
- Wang P, Liu LY, Dong ZG, Chen ST, Li Y, Wei Q, 2014. Study on mensuration of water content and five mineral element change rule in different leaf arrangement of coconut. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 27(2): 743–747. [王萍, 刘立云, 董志国, 陈思婷, 李艳, 韦琼, 2014. 椰子不同叶序 5 种矿物质元素含量变化规律初探. 四川农业学报, 27(2): 743–747.]
- Wu XY, Zhong YH, Li H, Liu K, Wu KH, Peng ZQ, 2004. Biological observation and bioassay of *Brontispa longissima* (Gestro). *Plant Quarantine*, 18(3): 137–140. [伍筱影, 钟义海, 李洪, 刘奎, 吴坤宏, 彭正强, 2004. 椰心叶甲生物学研究及室内毒力测定. 植物检疫, 18(3): 137–140.]
- Zeng L, Zhou R, Cui ZX, Lu YY, Liang GW, 2003. Effect of host plants on development and survival of *Brontispa longissima* (Gestro). *Journal of South China Agricultural University (Natural Science Edition)*, 24(4): 37–39. [曾玲, 周荣, 崔志新, 陆永跃, 梁广文, 2003. 寄主植物对椰心叶甲生长发育的影响. 华南农业大学学报, 24(4): 37–39.]
- Zhang B, Lai WW, Yang SB, Deng CW, Jiang XL, Lin XW, Xiang AQ, 2015. Historical investigation on invasion of alien species *Brontispa longissima* in coastal areas of south China. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 42(3): 184–189. [张波, 赖韦文, 杨少波, 邓灿武, 江雪伦, 林孝文, 向安强, 2015. 华南沿海外来生物椰心叶甲入侵的历史考察. 福建林业科技, 42(3): 184–189.]
- Zhang ZX, Cheng DM, Jiang DX, Xu HH, 2004. Spread, damage and control methods of *Brontispa longissima*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(6): 522–526. [张志祥, 程东美, 江定心, 徐汉虹, 2004. 椰心叶甲的传播、危害及防治方法. 昆虫知识, 41(6): 522–526.]
- Zhong YH, Liu K, Peng ZQ, Wu XY, Zhao ZY, Wu KH, 2003. *Brontispa longissima*-a highly dangerous pest. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 23(4): 67–72. [钟义海, 刘奎, 彭正强, 伍筱影, 赵志英, 吴坤宏, 2003. 椰心叶甲——一种新的高危害虫. 热带农业科学, 23(4): 67–72.]
- Zhou R, Zeng L, Liang GW, Lu YY, Cui ZX, 2004. Life history of the laboratory population of the palm leaf beetle *Brontispa longissima*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(4): 336–339. [周荣, 曾玲, 梁广文, 陆永跃, 崔志新, 2004. 椰心叶甲实验种群的生物学特性观察. 昆虫知识, 41(4): 336–339.]