

寄主植物对乌桕黄毒蛾取食量及生长发育的影响*

苏 超^{1,2**} 景 军^{1,2} 王猛猛¹ 方 燕¹ 李 恺^{1,2***}

(1. 华东师范大学生命科学学院, 上海 200241; 2. 浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 上海 200241)

摘 要 【目的】研究乌桕黄毒蛾 *Euproctis bipunctapex* (Hampson) 对 5 种不同科寄主植物(天仙果 *Ficus erecta* var. *beeheyana*、拐枣 *Hovenia acerba*、苦槠 *Castanopsis sclerophylla*、杨梅 *Myrica rubra* 和杜英 *Elaeocarpus decipiens*) 叶片的取食量以及不同寄主植物对乌桕黄毒蛾生长发育和繁殖的影响。

【方法】在恒定条件[温度(26±1)°C, 相对湿度 80%, 光周期 12L:12D]下, 设置 5 个处理组, 每处理分别投喂不同寄主植物叶片, 测定取食量、幼虫历期、存活率、繁殖力等指标。【结果】乌桕黄毒蛾对不同寄主植物的取食量差异显著, 苦槠饲喂组最高(2 588.15 mg), 杜英饲喂组最低(1 971.33 mg); 但对不同植物的日取食量总体趋势相同, 随时间呈指数增长, 4 龄起进入暴食期, 4 龄、5 龄和 6 龄幼虫取食量占总取食量的 80.68%~85.91%。取食不同寄主植物的乌桕黄毒蛾生长发育差异显著, 天仙果饲喂组的个体幼虫历期(34.35 d)最短, 存活率(60.20%)最高, 产卵量(281.33 粒/雌)最多, 而杜英饲喂组的个体幼虫历期(41.36d)最长, 存活率(38.78%)最低, 产卵量(215.83 粒/雌)较少。【结论】乌桕黄毒蛾虫害防治适期是 4 龄之前, 苦槠和杨梅受乌桕黄毒蛾取食最多, 天仙果是乌桕黄毒蛾生长发育的最适寄主植物。

关键词 乌桕黄毒蛾, 取食量, 生长发育, 寄主植物, 植物保护

Effects of host plants on food consumption and development of *Euproctis bipunctapex* (Hampson) (Lepidoptera, Lymantriidae)

SU Chao^{1,2**} JING Jun^{1,2} WANG Meng-Meng¹ FANG Yan¹ LI Kai^{1,2***}

(1. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Tiantong National Station of Forest Ecosystem, Shanghai 200241, China)

Abstract [Objectives] To study the effects of five host plants *Ficus erecta* var. *beeheyana*, *Hovenia acerba*, *Castanopsis sclerophylla*, *Myrica rubra* and *Elaeocarpus decipiens* on food consumption and development of *Euproctis bipunctapex* (Hampson) (Lepidoptera, Lymantriidae). [Methods] Set five research groups under constant conditions[(26±1)°C, 80% RH, photoperiod 12 : 12], each groups larvae were fed on different host plants leaves. Indicators such as food consumption, larvae duration, survival rate, fecundity *et al.* were determined. [Results] There were significant food consumption differences on *Euproctis bipunctapex* larvae which were fed on different host plants. The larvae fed on *C. sclerophylla* had the most food consumption (2 588.15 mg), and those fed on *E. decipiens* had the least food consumption (1 971.33 mg). But the overall trends of daily food consumption to different host plants were the same, they increased exponentially with time. Larvae food consumption increased dramatically from the 4th instar, and the food consumption of the last three stages took 80.68%-85.91% of the total food consumption. There were also significant differences on the development and fecundity among the larvae fed on different host plants. The larvae fed on *F. erecta* var. *beeheyana* had the shortest larvae duration (34.35 d), the highest larvae survival rate (60.20%) and the largest egg number laid per female (281.33). While the larvae duration (41.36 d) was the

* 资助项目 Supported projects: 上海市青年科技启明星跟踪计划项目 (10QH1400700)

**第一作者 First author, E-mail: suchao19890329@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: kaili@bio.ecnu.edu.cn

收稿日期 Received: 2014-05-29, 接受日期 Accepted: 2014-10-09

longest, total survival rate (38.78%) was the lowest, and the egg number laid per female (215.83) was the second least when being fed on *E. decipiens*. [Conclusion] Previous 4th instar of *E. bipunctapex* is the critical period of pest management. *C. sclerophylla* and *M. rubra* are suffered most, the food consumption are high. And *F. erecta* var. *beeheyana* is the most suitable host plant for *E. bipunctapex*.

Key words *Euproctis bipunctapex* (Hampson), food consumption, development, host plants, plant protection

植食性昆虫与其寄主植物之间的相互作用关系复杂多样,近年来得到广泛研究(Kursar and Coley, 2003; Howe and Jander, 2008; Cabezas *et al.*, 2013)。而两者之间的取食与防御关系是最原始、最基本的,同时也是相互作用最直接的一组种间关系(钦俊德, 1987; 钦俊德和王琛柱, 2001; 徐汝梅和成新跃, 2005)。通过研究昆虫与寄主植物的取食与防御关系,能够准确评估昆虫与寄主植物的适合度以及为害程度,达到对害虫高效防治的目的。近年来国内外对舞毒蛾 *Lymantria dispar* (Linnaeus) (王丽珍等, 2006)、小菜蛾 *Plutella xylostella* (Linnaeus) (赵素梅等, 2011)、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) (Farahani *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2011; 董钧锋等, 2012)、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) (阮永明和吴坤君, 2001) 和美国白蛾 *Hyphantria cunea* (Drury) (陈素伟等, 2010; 武海卫等, 2012) 等类群的相关研究较多,目前关于乌柏黄毒蛾 *Euproctis bipunctapex* (Hampson) 的相关报道甚少。

乌柏黄毒蛾隶属于鳞翅目 Lepidoptera 毒蛾科 Lymantriidae, 雌、雄斑型相同,但体型差异较大,雄蛾较小;翅展 19~44 mm,翅面黄褐色至黑褐色,近外缘黄褐色,中央有黑褐色断隔,近翅端有 2 枚黑色斑点,缘毛黄色。普遍分布于低海拔山区,种群数量大,食性杂,危害广。在浙江天童国家森林公园亚热带常绿阔叶林调查发现,乌柏黄毒蛾在此地区广泛分布,对植物危害严重。

本研究选取浙江天童国家森林公园常绿阔叶林中 5 种不同科的常见植物,通过研究乌柏黄毒蛾与不同寄主植物的取食关系,分析不同寄主植物对乌柏黄毒蛾取食量、生长发育和繁殖等的影响,旨在认识乌柏黄毒蛾生物学特性,了解乌

柏黄毒蛾对寄主植物的为害程度,在此基础上为乌柏黄毒蛾虫害防治以及林业资源保护提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

乌柏黄毒蛾幼虫采自浙江天童国家森林公园常绿阔叶林优势种苦槠 *Castanopsis sclerophylla* (Lindl.) Schott 叶片上,带回实验室用叶片离体饲养法饲养至化蛹,收集成虫羽化交配后所产的卵,选取同一天孵化的幼虫作为供试幼虫。

1.2 供试寄主植物

本研究选取 5 种供试寄主植物,分别为天仙果 *Ficus erecta* Thunb. var. *beeheyana* (Hook. et Arn.) King、拐枣 *Hovenia acerba* Lindl.、苦槠、杨梅 *Myrica rubra* (Lour.) Sieb. et Zucc. 和杜英 *Elaeocarpus decipiens* Hemsl. 所选植物均为浙江天童国家森林公园常见物种,在野外观察中发现这 5 种植物叶片均受到乌柏黄毒蛾的危害,且在实验阶段有可供乌柏黄毒蛾取食的新鲜叶片。

1.3 试验方法

1.3.1 取食量测定 采用质量测量法测定乌柏黄毒蛾的取食量。选取同一天孵化的 1 龄幼虫置于玻璃培养皿内(直径 9 cm)饲养,投喂寄主植物新鲜叶片。其中,1~3 龄幼虫群集饲养,每皿 10 头;4 龄起幼虫分散饲养,每皿 1 头。饲养时在叶柄处用湿润的脱脂棉球保湿,投入叶片前用分析天平(0.1 mg)称量叶片质量,每 24 h 更换叶片 1 次,并称量剩余叶片及残渣的质量。同时设置失水对照组,以校正取食量。实验设置

30 个重复, 每个重复 1 头幼虫, 试验过程中如有幼虫死亡, 则以同龄期长势相同、体重相近的幼虫补充。

乌柏黄毒蛾取食量计算公式: 日取食量 $Y=A-B/(1-E)$, $E=(A-B)/A$ (王斌等, 2012)。

其中, A 为当日投食量, B 为次日剩食量, E 为失水率。

1.3.2 乌柏黄毒蛾的饲养及生长发育观察 采用叶片离体饲养, 试验设置 5 个处理, 分别饲以 5 种供试寄主植物的新鲜叶片。每处理 100 头左右幼虫, 1~3 龄幼虫群集饲养于直径 9 cm 的玻璃培养皿中, 4 龄起分皿编号单头饲养。每天上午 8:00 投喂新鲜叶片, 观察各组幼虫的生长发育情况, 记录存活情况、化蛹日期和羽化日期。每头幼虫化蛹后的第 4 天称其蛹重, 并移至养虫盒中以便顺利羽化。成虫羽化后进行雌雄配对, 在养虫盒中用 10% 蜂蜜水饲养, 并在盒内放入对应的寄主植物叶片, 以便雌成虫产卵。记录每雌产卵量及成虫寿命。以上过程均在恒温光照培养箱中进行, 试验条件设置为温度 $(26\pm 1)^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 80%, 光周期 12L:12D。

1.4 数据分析

使用 Excel 2013 记录、整理数据, 运用 SPSS16.0 for Windows 进行方差分析、显著性检验, 用 Excel 2013 进行曲线拟合并作图。

2 结果与分析

2.1 乌柏黄毒蛾的取食量

乌柏黄毒蛾对 5 种供试寄主植物叶片的取食偏好性明显, 取食量各有差异, 但总体取食趋势相同。取食相同寄主植物叶片, 乌柏黄毒蛾幼虫日取食量随龄期显著增高, 但是在低龄期 (4 龄前) 一直处于较低水平, 幼虫在 4 龄时进入暴食期, 取食量大, 且增幅巨大, 4~6 龄的幼虫取食量占幼虫总取食量的 80.68%~85.91% (表 1)。将乌柏黄毒蛾日取食量 (mg) 与时间 (d) 进行曲线拟合, 结果显示乌柏黄毒蛾日取食量与时间之间符合指数方程 (图 1)。

取食不同寄主植物叶片, 乌柏黄毒蛾相同龄期的平均取食量在各饲喂组间差异显著。1 龄幼虫平均取食量以天仙果叶片饲喂组 (7.99 mg) 最高, 拐枣叶片饲喂组 (7.08 mg) 最低; 2 龄、3 龄和 4 龄幼虫平均取食量均以苦楮叶片饲喂组 (33.85、103.8 和 354.70 mg) 最高, 2 龄时杨梅叶片饲喂组平均取食量 (28.52 mg) 最低, 3 龄时拐枣叶片饲喂组平均取食量 (63.74 mg) 最低, 而 4 龄时平均取食量最低的为杜英叶片饲喂组 (183.62 mg); 5 龄幼虫平均取食量以杨梅叶片饲喂组 (736.22 mg) 最高, 6 龄以苦楮叶片饲喂组 (1 392.32 mg) 最高, 5 龄和 6 龄幼虫最低平均取食量均为杜英叶片饲喂组 (456.40 mg 和 1 211.19 mg) (表 1)。

统计乌柏黄毒蛾整个幼虫期的取食量结果显示其对苦楮叶片的总取食量最高, 平均每头幼虫可取食 2 588.15 mg 新鲜苦楮叶片; 乌柏黄毒蛾对杨梅叶片的总取食量次之, 为 2 477.60 mg, 但两组之间未表现出显著差异。乌柏黄毒蛾对以上两种寄主植物叶片的幼虫期取食量均分别显著高于对其余 3 组的幼虫期取食量 (天仙果 2 248.57 mg、拐枣 2 152.10 mg、杜英 1 971.33 mg)。乌柏黄毒蛾日均取食量以苦楮叶片饲喂组最高 (70.89 mg), 其次是天仙果叶片饲喂组 (65.46 mg)、杨梅叶片饲喂组 (66.85 mg) 和拐枣叶片饲喂组 (62.25 mg), 杜英叶片饲喂组的日均取食量最低, 仅 47.66 mg (表 1)。

2.2 不同寄主植物对乌柏黄毒蛾发育历期的影响

用不同寄主植物叶片饲养乌柏黄毒蛾, 结果表明寄主植物种类能显著影响乌柏黄毒蛾的发育历期。在卵期、幼虫期、蛹期和成虫期四个阶段中, 幼虫期受寄主植物影响最大。天仙果叶片饲喂组幼虫历期仅为 34.35 d, 而杜英叶片饲喂组则需要 41.36 d, 各饲喂组幼虫历期的长短顺序为: 杜英叶片饲喂组 (41.36 d) > 杨梅叶片饲喂组 (37.06 d) > 苦楮叶片饲喂组 (36.51 d) > 拐枣叶片饲喂组 (34.57 d) > 天仙果叶片饲喂组 (34.35 d), 各组之间幼虫历期差异显著, 其中

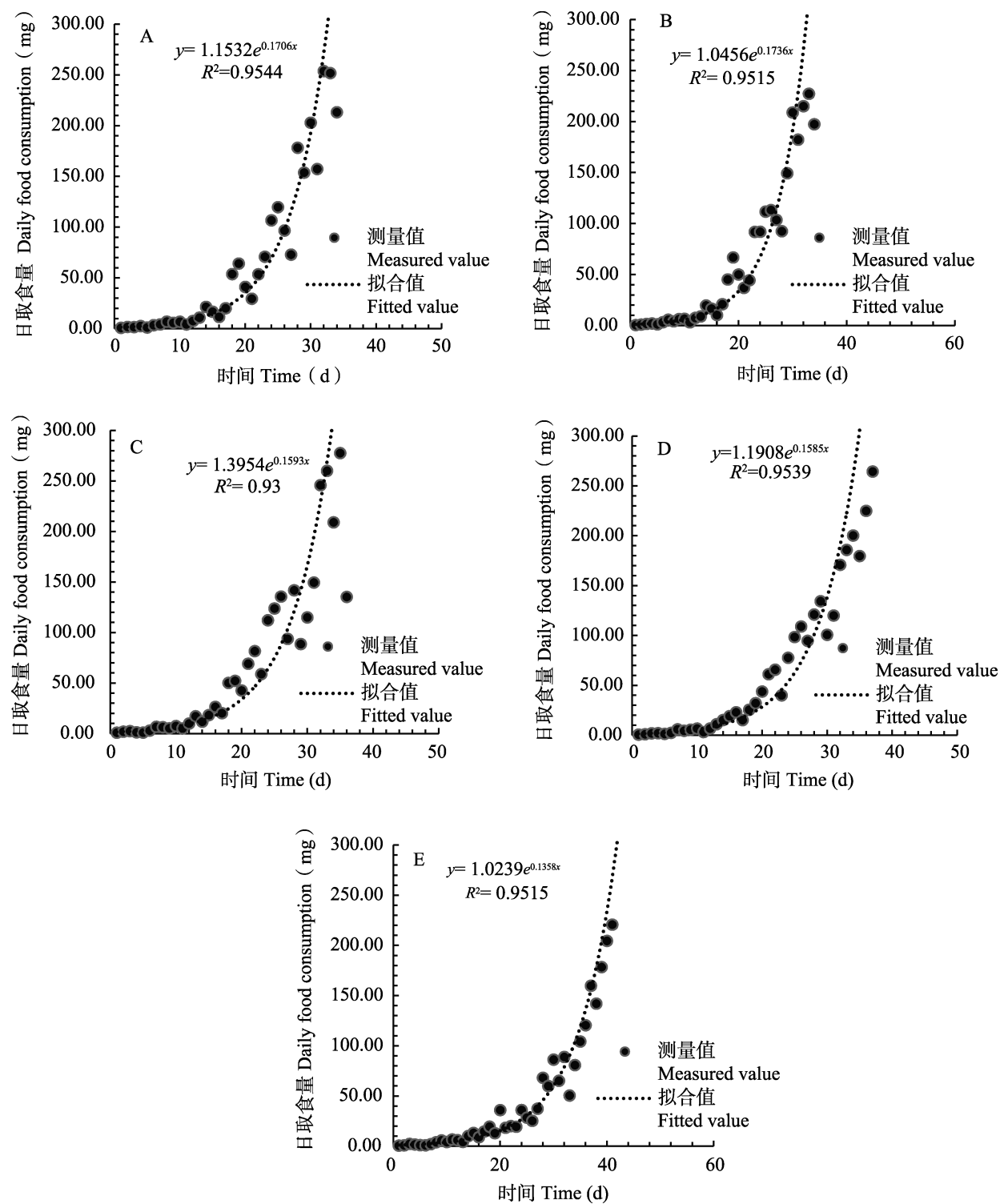


图 1 乌柏黄毒蛾对 5 种寄主植物叶片的取食量动态及拟合方程

Fig. 1 Food consumption dynamic and curve estimation equations of *Euproctis bipunctatipes*'s feeding amount on five host plants

A: 天仙果叶片饲喂组; B: 拐枣叶片饲喂组; C: 苦槠叶片饲喂组; D: 杨梅叶片饲喂组; E: 杜英叶片饲喂组。

A: *F. erecta* var. *beecheana* feeding group; B: *H. acerba* feeding group; C: *C. sclerophylla* feeding group; D: *M. rubra* feeding group; E: *E. decipiens* feeding group.

表 1 乌桕黄毒蛾各龄期对不同寄主植物叶片的取食量 (mg)

Table 1 *Euproctis bipunctapex*'s feeding amount on different host plants in different instars (mg)

发育阶段 Development stage	天仙果 <i>F. erecta</i> var. <i>beeheyana</i>	拐枣 <i>H. acerba</i>	苦槠 <i>C. sclerophylla</i>	杨梅 <i>M. rubra</i>	杜英 <i>E. decipiens</i>
1 龄 1st instar	7.99±0.25a	7.08±0.23b	7.59±0.31ab	7.16±0.37b	7.51±0.46ab
2 龄 2nd instar	31.74±1.60ab	30.10±2.52ab	33.85±2.53a	28.52±2.44b	33.08±2.74ab
3 龄 3rd instar	68.37±4.13cd	63.74±6.41d	103.88±8.77a	90.72±8.96b	79.53±5.09bc
4 龄 4th instar	208.79±13.17c	264.96±20.86b	354.70±25.84a	268.58±20.48b	183.62±13.73c
5 龄 5th instar	520.64±24.68c	605.46±18.94b	695.81±47.88a	736.22±36.78a	456.40±30.01c
6 龄 6th instar	1 411.04±71.16a	1 180.76±81.86c	1 392.32±81.80a	1 346.40±68.24ab	1 211.19±78.57bc
幼虫期 Larvae stage	2 248.57±107.87b	2 152.10±87.57bc	2 588.15±109.34a	2 477.60±136.04a	1 971.33±80.64c
日均取食量 Daily average consumption	65.46±3.14ab	62.25±2.53b	70.89±2.99a	66.85±3.67ab	47.66±1.95c

表中数值为平均值±标准差。同列数据标有不同小写字母表示差异显著 (Duncan's 新复极差法, $P<0.05$)。下表同。
The data in the table are presented as mean ±SE, and followed by the different letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same below.

同龄期历期也有显著差异。各组蛹历期虽长短不一,但差异并未达到显著水平。成虫历期差异显著,天仙果叶片饲喂组 (6.52 d)、杜英叶片饲喂组 (6.40 d) 和苦槠叶片饲喂组 (6.31 d) 的成虫寿命较长,拐枣叶片饲喂组 (5.80 d) 和杨梅叶片饲喂组 (5.74 d) 的成虫寿命较短。各组成虫所产的卵孵化整齐,并不受寄主植物种类影响 (表 2)。

2.3 不同寄主植物对乌桕黄毒蛾生长发育情况的影响

取食的寄主植物不同,乌桕黄毒蛾的存活率、蛹重及繁殖力各不相同。天仙果叶片饲喂组的幼虫存活率最高 (60.2%),苦槠叶片饲喂组 (57.28%) 和杨梅叶片饲喂组 (51.96%) 次之,拐枣叶片饲喂组 (41.24%) 和杜英叶片饲喂组 (38.78%) 幼虫存活率较低。各组蛹羽化率都比较高,均在 80% 以上。各组幼虫从初孵化至羽化为正常成虫的累计存活率差异情况与幼虫存活率相似,累计存活率高低顺序为:天仙果叶片饲喂组>苦槠叶片饲喂组>杨梅叶片饲喂组>拐枣叶片饲喂组>杜英叶片饲喂组。雌蛹重能反映出昆虫的营养积累状况,各组之间差异显著。其中,

天仙果叶片饲喂组和苦槠叶片饲喂组的雌蛹重最高,显著高于其它各组,杜英叶片饲喂组的雌蛹重最低。乌桕黄毒蛾每雌产卵量与雌蛹重呈正相关 ($r=0.964$),雌蛹越重,产卵量越多 (表 3)。

3 讨论和结论

昆虫取食植物是危害植物最直接的方式,取食量直观地反映了昆虫对植物的危害程度。根据最新的害虫综合治理指导方针,治理虫害并不意味着害虫刚出现就进行防治,也不是要彻底消灭害虫,而是将虫害控制在一定水平下,这样就可达到治理的目的,因此要根据害虫的危害特性适时进行防治 (赵素梅等, 2011)。从乌桕黄毒蛾的取食量动态可以看出其暴食期发生在 4 龄及以后,4 龄之前的取食量并不大。乌桕黄毒蛾 4 龄、5 龄和 6 龄的取食量占幼虫期取食量的绝大部分 (80.68%~85.91%),许多学者对不同昆虫的取食量研究均支持了本研究结果 (王凤等, 2008; 廉梅霞和张育平, 2011; 赵素梅等, 2011; 武海卫等, 2012)。此外,本研究还发现幼虫死亡大多集中在 1 龄、2 龄和 3 龄,即低龄期,可能由于这段时期幼虫相对脆弱,抵抗力差。所以

表 2 取食不同寄主植物叶片的乌柏黄毒蛾各虫态历期 (d)
Table 2 Durations of *Euproctis bipunctapex* in various instars fed on different host plants (d)

发育阶段 Development stage	天仙果 <i>F. erecta</i> var. <i>beecheana</i>	拐枣 <i>H. acerba</i>	苦槠 <i>C. sclerophylla</i>	杨梅 <i>M. rubra</i>	杜英 <i>E. decipiens</i>
卵期 Egg stage	3.00±<0.01a	3.00±<0.01a	3.00±<0.01a	3.00±<0.01a	3.00±<0.01a
1 龄 1st instar	5.00±<0.01b	5.00±<0.01b	5.00±<0.01b	5.00±<0.01b	5.75±0.07a
2 龄 2nd instar	6.27±0.49b	6.14±0.50b	6.34±0.52b	6.41±0.55ab	7.14±0.64a
3 龄 3rd instar	5.14±0.38c	5.43±0.39bc	5.85±0.51abc	6.12±0.61ab	6.49±0.53a
4 龄 4th instar	5.29±0.43c	5.71±0.46bc	6.03±0.63abc	6.32±0.54ab	6.84±0.46a
5 龄 5th instar	5.81±0.41b	6.29±0.35ab	6.47±0.44ab	6.47±0.39ab	7.25±0.55a
6 龄 6th instar	6.84±0.69ab	6.00±0.42b	6.82±0.49ab	6.74±0.57b	7.89±0.72a
幼虫期 Larvae stage	34.35±2.30c	34.57±3.05c	36.51±3.39bc	37.06±3.54b	41.36±2.98a
蛹期 Pupa stage	13.68±1.51a	13.93±1.14a	13.93±1.41a	13.78±1.09a	14.20±1.30a
成虫期 Adult stage	6.52±0.57a	5.80±0.45b	6.31±0.68ab	5.74±0.86b	6.40±0.55ab

表 3 取食不同寄主植物的乌柏黄毒蛾生长发育情况
Table 3 Development states of *Euproctis bipunctapex* fed on different host plants

寄主植物 Host plant	幼虫存活率 (%) Larvae survival rate	羽化率 (%) Eclosion rate	累计存活率 (%) Total survival rate	雌蛹重 (mg) Female pupa weight	产卵量 (粒/雌) Fecundity
天仙果 <i>F. erecta</i> var. <i>beecheana</i>	60.02	90.32	54.37	89.58±6.33a	281.33±87.76a
拐枣 <i>H. acerba</i>	41.24	82.50	34.02	54.52±6.82b	162.25±19.09bc
苦槠 <i>C. sclerophylla</i>	57.28	91.53	52.43	83.64±7.95a	235.67±38.79ab
杨梅 <i>M. rubra</i>	51.96	90.57	47.06	64.17±4.16c	215.83±55.95abc
杜英 <i>E. decipiens</i>	38.78	81.58	31.63	41.76±2.91d	145.28±24.44c

综上所述认为对乌柏黄毒蛾虫害的防治适期是 4 龄之前。4 龄以后植物已经遭受相当程度的为害，且高龄幼虫抵抗力强，此时实施虫害治理，效率显著降低，代价增高，违背经济、高效治理虫害的理念。

植物种类不同，其叶片的物理性质（如硬度、被毛、刺等）、化学组成（如营养成分、次生物质）各有差异，广食性昆虫面临寄主植物各方面的差异，会通过选择来确定适合其生长发育的寄主，从而对不同寄主植物表现出不同程度的取食和产卵偏好性，进而昆虫各种生长指标受到不同程度的影响（钦俊德，1987；Chen *et al.*，2011）。

本研究中乌柏黄毒蛾取食不同寄主植物，其幼虫发育历期、蛹重、产卵量、幼虫存活率、羽化率、累计存活率等指标都受到显著影响，但是乌柏黄毒蛾均能够完成整个生活周期，这说明本研究选取的 5 种寄主植物均是乌柏黄毒蛾可寄生的种类，同时也说明广食性昆虫对防御属性、营养成分各异的寄主植物具有相当程度的生理调节能力（Awmack and Leather，2002；Behmer *et al.*，2002；Raubenheimer and Simpson，2003；张娜，2009；苏超等，2013）。高存活率、短发育历期是评判昆虫最适寄主植物的主要指标（Greenberg *et al.*，2002），由此推论本研究中天

仙果是乌桕黄毒蛾的最适寄主。但是天仙果并不是受害最严重的植物,从取食角度分析,本研究 中苦槠和杨梅是乌桕黄毒蛾取食最多的植物,受 危害时间长,因此受害最严重。天仙果叶片饲喂 组的总取食量、日均取食量均不及苦槠叶片饲喂 组和杨梅叶片饲喂组。这个结果的形成一方面由 于取食不同寄主植物的幼虫历期长短不同,另一 方面可能是因为寄主植物营养成分差异所致。这 种解释可以从营养补偿假说 (Nutrient complementation hypothesis) 中得到支持,该假 说认为当植食性昆虫的食物中缺乏对其生长发 育和繁殖所必需的某些营养成分时(如含氮量不 足),昆虫会通过增加取食来获得所必需的营养 (Pennings *et al.*, 1993)。

综上所述,乌桕黄毒蛾取食供试 5 种寄主植 物均能完成生长发育过程,但不同饲喂组乌桕黄 毒蛾的生长指标差异显著,天仙果是其生长发育 的最适寄主植物,苦槠和杨梅受乌桕黄毒蛾取食 量最高,受危害最严重。因此,5 种寄主植物中, 这 3 种应重点关注。乌桕黄毒蛾幼虫有 6 个龄期, 虫害防治适期是 4 龄之前。

参考文献 (References)

- Awmack CS, Leather SR, 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 47: 817–844.
- Behmer ST, Simpson SJ, Raubenheimer D, 2002. Herbivore foraging in chemically heterogeneous environments: nutrients and secondary metabolites. *Ecology*, 83(9): 2489–2501.
- Cabezas MF, Nava DE, Geissler LO, Melo M, Garcia MS, R Krüger, 2013. Development and leaf consumption by *Spodoptera cosmioides* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) reared on leaves of agroenergy crops. *Neotrop Entomol.*, 42(6): 588–594.
- Chen YG, Ciaramitaro T, Poland TM, 2011. Moisture content and nutrition as selection forces for emerald ash borer larvae feeding behavior. *Ecol. Entomol.*, 36(3): 344–354.
- Farahani S, Naseri B, Talebi AA, 2011. Comparative life table parameters of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on five host plants. *J. Entomol. Res. Soc.*, 13(1): 91–101.
- Greenberg SM, Sappington TW, Sétamon M, Liu TX, 2002. Beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host plant preferences for oviposition. *Environ. Entomol.*, 31(1): 142–148.
- Howe GA, Jander G, 2008. Plant immunity to insect herbivores. *Ann. Rev. Plant Biol.*, 59: 41–66.
- Kursar TA, Coley PD, 2003. Convergence in defense syndromes of young leaves in tropical rainforests. *Biochemical Systematics and Ecology*, 31(8): 929–949.
- Pennings SC, Nadeaau MT, Paul VJ, 1993. Selectivity and growth of the generalist herbivore *Dolabella auricularia* feeding upon complementary resources. *Ecology*, 74(3): 879–890.
- Raubenheimer D, Simpson SJ, 2003. Nutrient balancing in grasshoppers: behavioural and physiological correlates of dietary breadth. *J. Exp. Biol.*, 206(10): 1669–1681.
- Zhang B, Liu H, Sanders HH, Wang JJ, 2011. Effect of host plants on development, fecundity and enzyme activity of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Agric. Sci. Chin.*, 10(8): 1232–1240.
- Chen SW, Chen RM, Chen QD, Huang YQ, Gao Q, Wang DC, 2010. Effects of different *Populus* species on the development and survival rate of *Hyphantria cunea*. *Chinese Forest Diseases and Pests*, 29(6): 14–16. [陈素伟, 陈汝敏, 陈庆道, 黄谊青, 高群, 王道臣, 2010. 不同杨树品种对美国白蛾生长发育和存活的影响. 中国森林病虫, 29(6): 14–16.]
- Dong JF, Zhang YJ, Zhu GR, Wang SL, 2012. Comparative life parameters of beet armyworm, *Spodoptera exigua*, on four host plants. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1468–1473. [董钧锋, 张友军, 朱国仁, 王少丽, 2012. 甜菜夜蛾在四种寄主植物上的生命表参数比较研究. 应用昆虫学报, 49(6): 1468–1473.]
- Lian MX, Zhang YP, 2011. The injection and defecation of the *Dendrolimus suffusus illustratus* larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 982–985. [廉梅霞, 张育平, 2011. 明纹柏松毛虫各龄幼虫取食量和排粪量. 应用昆虫学报, 48(4): 982–985.]
- Qin JD, 1987. The Relationship Between Insects and Plants. Beijing: Science Press. 12–20. [钦俊德, 1987. 昆虫与植物之间的关系. 北京: 科学出版社. 12–20.]
- Qin JD, Wang CZ, 2001. Interactions and evolution of the relationship between insects and plants. *Acta Entomologica Sinica*, 44(3): 360–365. [钦俊德, 王琛柱, 2001. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系. 昆虫学报, 44(3): 360–365.]
- Su C, Jing J, Wang MM, Fang Y, Li K, 2013. Effects of different host plants on the development and fecundity of *Lemyra alikangensis* (Srand) (Lepidoptera: Arctiidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1614–1621. [苏超, 景军, 王猛

- 猛, 方燕, 李恺, 2013. 不同寄主植物对三条橙灯蛾生长发育和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 50(6): 1614–1621.]
- Ruan YM, Wu KJ, 2001. Effects of different host plants on the development and fecundity of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Entomologica Sinica*, 44(2): 205–212. [阮永明, 吴坤君, 2001. 不同食料植物对棉铃虫生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 44(2): 205–212.]
- Wang B, Chen L, Zhang TS, Cai YL, Li K, 2012. Research on the feeding behavior of *Neospastis simaona* larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(3): 742–746. [王斌, 陈凌, 张天澍, 蔡永立, 李恺, 2012. 思茅新木蛾幼虫取食行为的研究. 应用昆虫学报, 49(3): 742–746.]
- Wang F, Ju RT, Li YZ, Chi XZ, Du YZ, 2008. Feeding behavior and feeding amount of *Parasa consocia*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(2): 233–235. [王凤, 鞠瑞亭, 李跃忠, 池杏珍, 杜予州, 2008. 褐边绿刺蛾的取食行为和取食量. 昆虫知识, 45(2): 233–235.]
- Wang LZ, Duan LQ, Te MQ, Xie MY, 2006. Influence of host plants on the development of gypsy moth. *Chinese Forest Diseases and Pests*, 25(1): 21–13. [王丽珍, 段立清, 特木钦, 谢明玉, 2006. 寄主植物对舞毒蛾生长发育的影响. 中国森林病虫, 25(1): 21–13.]
- Wu HW, Kang Z, Xin SL, Qin XB, Zhang QH, Liu HX, 2012. Effects of different food plants on the growth, development and reproduction of fall webworm, *Hyphantria cunea*, larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 963–968. [武海卫, 康智, 信善林, 秦绪兵, 张秋梅, 刘焕秀, 2012. 不同食料植物对美国白蛾生长发育和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 49(4): 963–968.]
- Xu RM, Cheng XY, 2005. *Entomology Population Ecology: Basis and Introduction*. Beijing: Science Press. 291–306. [徐汝梅, 成新跃, 2005. 昆虫种群生态学: 基础与前言. 北京: 科学出版社. 291–306.]
- Zhang N, Guo JY, Wan FH, Wu G, 2009. Effects of three kinds of host plants on development and some digestive enzyme activities of beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 36(2): 146–150. [张娜, 郭建英, 万方浩, 吴刚, 2009. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育和消化酶活性的影响. 植物保护学报, 36(2): 146–150.]
- Zhao SM, Liu H, Guo MF, Huang SS, 2011. The measurement and mathematic model on feeding amount of *Plutella xylostella* larvae to the leaf of *Brassica parachinensis*. *Journal of Environmental Entomology*, 33(3): 414–417. [赵素梅, 刘慧, 郭明昉, 黄寿山, 2011. 小菜蛾幼虫对菜心叶片取食量的测定及其拟合模型. 环境昆虫学报, 33(3): 414–417.]