

不同种类蔬菜对黄粉虫成虫繁殖和种群生命表参数的影响*

曾兆华^{1,2**} 林涛^{1,2**} 陈艺欣^{1,2} 陈勇^{1,2} 赵建伟^{1,2}
田厚军^{1,2} 魏辉^{1,2} 游泳^{1,2***}

(1. 福建省农业科学院植物保护研究所, 福州 350013; 2. 福建省作物有害生物监测与治理重点实验室, 福州 350003)

摘要 【目的】筛选能够提高黄粉虫 *Tenebrio molitor* Linnaeus 成虫繁殖能力的蔬菜种类, 降低养殖成本, 提高产量, 增加利润。【方法】以萝卜、马铃薯、白菜、胡萝卜、蕹菜和黄瓜 6 种蔬菜作为辅助饲料, 研究添加不同蔬菜对黄粉虫成虫寿命、繁殖和生命表参数的影响。【结果】黄粉虫成虫的产卵期和寿命以添加黄瓜和胡萝卜的为最长, 但二者的内禀增长率 (r_m) 和周限增长率 (λ) 明显最低, 种群倍增时间 (t) 显著加长。添加萝卜、马铃薯、白菜和胡萝卜的黄粉虫其总产卵量最多, 但添加后者的日均卵量却显著少于前三者。添加萝卜、马铃薯、白菜和蕹菜的黄粉虫在世代平均历期 (T)、 r_m 、 t 和 λ 4 个参数上均没有显著差异, 但添加蕹菜的净增殖率 (R_0) 和产卵量却显著少于前三者, 雄虫比例在所有 6 种处理中最高。【结论】萝卜、马铃薯和白菜 3 种蔬菜有助于提高黄粉虫成虫的繁殖力和种群增长率。

关键词 蔬菜; 黄粉虫; 繁殖; 生命表参数

Effect of different food plants on the reproduction and life table parameters of adult *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)

ZENG Zhao-Hua^{1,2**} LIN Tao^{1,2**} CHEN Yi-Xin^{1,2} CHEN Yong^{1,2}
ZHAO Jian-Wei^{1,2} TIAN Hou-Jun^{1,2} WEI Hui^{1,2} YOU Yong^{1,2***}

(1. Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agriculture Sciences, Fuzhou 350013, China;

2. Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Fuzhou 350003, China)

Abstract [Objectives] To identify new food plants that can improve the reproductive capacity of captive-raised *Tenebrio molitor*, reduce the energy consumption and cost of breeding this species in captivity, and increase production and profits. [Methods] Six vegetable species, *Raphanus sativus*, *Solanum tuberosum*, *Brassica chinensis*, *Daucus carota*, *Ipomoea aquatica*, and *Cucumis sativus*, were assessed as alternative foods for *T. molitor*. [Results] The longevity, reproduction, and life table parameters of *T. molitor* adults raised on these different plants was quantified and compared. Although adults fed on *D. carota* and *C. sativus* had the greatest longevity and longest oviposition period, their intrinsic (r_m) and finite rate of increase (λ) were the lowest, and the doubling time of the population (t) was significantly longer than that of adults fed on other food plants. The total fecundity of adults fed on *R. sativus*, *S. tuberosum*, *B. chinensis*, and *D. carota* was significantly higher than that of those fed on other food plants, however, the daily fecundity of adults fed on *D. carota* was significantly lower than that of those fed on the other food plants. There were no significant differences in the mean generation time (T), r_m , t , and λ of adults fed on *R. sativus*, *S. tuberosum*, *B. chinensis*, and *I. aquatica*; however, the net reproductive rate (R_0) and fecundity of those fed on *I. aquatica* was significantly lower than those fed on the other food plants and the proportion of male offspring was the highest among all six treatments. [Conclusion] Feeding *T. molitor* on *R. sativus*, *S. tuberosum*, and *B. chinensis* can

*资助项目 Supported projects :福建省自然科学基金项目(2016J01139);福建省省属公益类科研院所专项(2017R1025-11;2016R1023-9;2014R1024-6);福建省农业科学院青年科技创新团队(STIT2017-3-2)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: 719543713@qq.com; maludongzuo@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: 12124810@qq.com

收稿日期 Received: 2018-05-18; 接受日期 Accepted: 2018-11-15

improve the reproductive capacity and population growth rate of this insect.

Key words vegetable; *Tenebrio molitor*; reproduction; life table parameters

黄粉虫 *Tenebrio molitor* Linnaeus 原为一种常见的仓库害虫, 目前已被应用于天敌昆虫饲养 (Pappas *et al.*, 2007; De Bortoli *et al.*, 2011)、农药环境毒性效应 (Kuusik *et al.*, 1995; Aribi *et al.*, 2006)、转基因作物风险评估 (Kim *et al.*, 2012)、畜牧废弃物利用 (孙国峰等, 2010; 曾祥伟等, 2012)、生物柴油 (Zheng *et al.*, 2013) 等多个领域的研究。同时, 黄粉虫也凭借其富含多种氨基酸和微量元素 (高红莉等, 2006), 作为优质活体动物蛋白饲料被大量饲养, 广泛应用于家禽家畜以及石蛙、林蛙、娃娃鱼和甲鱼等特种经济动物的养殖 (华红霞等, 2001), 成为继家蚕和蜜蜂之后的第三大资源昆虫 (曾祥伟等, 2012)。

黄粉虫是福建省西北部棘胸蛙、山鸡、蛇等特种动物养殖的主要活体饵料。福建省内特种动物养殖场多建在山区, 位置偏僻, 交通不便, 从外省调运的活体黄粉虫受运输条件限制极易导致大量死亡, 给养殖户造成严重损失。目前, 养殖户普遍通过自行饲养繁殖黄粉虫用作特种动物饵料。因此, 活体黄粉虫产量高低直接决定养殖户的生产效益。然而, 目前养殖户在黄粉虫饲养过程中多凭经验, 饲喂所添加的辅助饲料来源广泛, 种类繁多, 无法保证黄粉虫成虫的稳定高产。已有研究表明调节温度和谷物饲料配比能够延长黄粉虫成虫寿命并提高产卵量 (张传溪等, 1995; 杨兆芬等, 1999a, 1999b; 徐世才等, 2012), 通过添加蔬菜提高成虫产卵量的研究也有少量报道 (王立新等, 2005; 刘宁等, 2012), 但蔬菜对黄粉虫繁殖能力和种群增长率的影响却鲜见报道。生殖力生命表参数综合了昆虫生长发育、繁殖和生存变化, 反映了特定条件下的昆虫种群动态和增长潜能 (Maia *et al.*, 2000)。因此, 本文通过比较添加不同种类蔬菜对黄粉虫成虫寿命和产卵量的影响, 比较种群内禀增长率、净繁殖率、平均世代周期、周限增长率、种群倍增时间等生命表参数的差异, 评估不同种类蔬菜对

成虫繁殖力的影响, 筛选能够提高黄粉虫种群增长率的蔬菜种类, 降低养殖成本, 提高产量, 增加利润。

1 材料与方法

1.1 虫源

试验种虫从福建省福州市花鸟市场购进, 在室内保种饲养, 幼虫和成虫每日均喂食足量麦麸和马铃薯块茎切片。室内饲养环境条件为温度 (25 ± 2) °C、相对湿度 $65\% \pm 10\%$ 和黑暗环境, 连续饲养超过 5 代, 取发育正常和健壮的蛹供做试验。

1.2 蔬菜来源

蔬菜选用当地养殖户常用的萝卜 *Raphanus sativus* Linnaeus、马铃薯 *Solanum tuberosum* Linnaeus、白菜 *Brassica chinensis* Linnaeus、胡萝卜 *Daucus carota* Linnaeus、蕹菜 *Ipomoea aquatica* Forssk 和黄瓜 *Cucumis sativus* Linnaeus 6 种, 在试验开始前半年在温室大棚内陆续种植, 种植期间定期浇水, 且不使用各种化肥和农药。蔬菜收获后清水洗净, 除黄瓜仅采用果实外, 其他几种蔬菜均收取根茎叶部分装入封口袋, 并置于 4 °C 的冰箱冷藏备用。使用时取出用刀切成直径约 5 mm 的碎块。

1.3 试验设计

取当日产下的黄粉虫卵 1 400 粒平均分成 7 组, 待幼虫孵化后饲喂足量的经高温消毒灭菌的麦麸并分别添加不同蔬菜 (对照组饲喂含水量为 55% 的湿麦麸) 至化蛹, 蔬菜的添加量视取食情况, 保证每天可见有余。将 24 h 内羽化的成虫随机配对 (1 头雌虫与 2 头雄虫配对以保证雌性有效交配), 并挑入垫有圆形滤纸的带盖塑料盒 (盒高 7 cm, 直径为 12 cm, 盖子上均留有透气孔洞)。待成虫体色变黑, 撒入约 0.5 cm 厚的麦麸, 分别加入上述 6 种蔬菜各 10 g 作为不同

的处理, 空白对照为加入含水量为 55% 的湿麦麸。每天更换一次干枯的蔬菜(空白对照为湿麦麸), 并补充足量麦麸直至成虫死亡并记录死亡时间。结合添加饲料每天更换一张滤纸, 换下的滤纸清点完卵数后将同一处理的滤纸集中放入塑料盒内, 并撒入适量麦麸, 按室内保种的饲养条件和方法饲养至其化蛹, 记录产卵时间和后代雌雄数量。本试验设 6 组蔬菜处理和 1 组空白对照, 每个处理设 15 个重复。幼虫和成虫试验均在温度为 $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 和黑暗条件下的人工气候箱(上海一恒科学仪器有限公司, 型号: MGC-450HP-2) 内开展。

1.4 数据处理

根据实验数据组建黄粉虫生殖力生命表并计算以下参数:

净生殖率 $R_0 = \sum l_x m_x$, 是指每雌产生雌性后代的数量 (Deevey, 1947)。

内禀增长率 $r_m = \ln(R_0/T)$, 是指在理想环境条件的种群瞬时增长率 (Birch, 1948)。

平均世代周期 $T = \sum x l_x m_x / \sum l_x m_x$, 是指每一世代的平均时间间隔 (Deevey, 1947)。

周限增长率 $\lambda = e^{r_m}$, 是指种群倍增的因子 (Birch, 1948)。

种群倍增时间 $t = \ln 2 / r_m$, 是指种群在理想环境条件下数量增加一倍所需时间 (Carey, 1989)。

上述公式中, l_x 表示任何一个个体在 x 期间的存活率, m_x 表示在 x 期间的平均单雌产雌数。

本试验采用 SPSS19.0 软件的单因素方差分析 (One-way ANOVA) 检验添加不同蔬菜对黄粉虫产卵前期、产卵期、产卵后期以及日均卵量和总产卵量的差异。采用公式:

$$P_j(i) = n \times P - (n-1) \times P(i) \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n,$$

计算 R_0 、 r_m 、 T 、 λ 、 t 等生命表参数的 Jackknife 估计值 (Meyer *et al.*, 1986; Maia *et al.*, 2000), 其中 P 指生命表参数实际值, $P(i)$ 为除去第 i 个个体后的参数值, $P_j(i)$ 为除去第 i 个个体后的 Jackknife 参数估计值, 并对不同处理间的差异

显著性进行多重比较 (LSD 法)。存活率和繁殖率图采用 Origin 9.1 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 不同种类蔬菜对黄粉虫成虫产卵期和寿命的影响

添加不同蔬菜对黄粉虫成虫的产卵前期、产卵期、产卵后期和成虫寿命均有显著差异 ($P < 0.001$)。添加萝卜和马铃薯的成虫产卵前期显著长于饲喂胡萝卜、黄瓜和蒸馏水的成虫, 但与添加白菜和薤菜的处理却没有显著差异。添加黄瓜的成虫产卵期与饲喂胡萝卜的处理没有显著差异, 但却显著长于饲喂萝卜、马铃薯、白菜和薤菜的处理; 并且添加蒸馏水的成虫产卵期显著短于上述 6 种蔬菜处理。添加萝卜、马铃薯、白菜、胡萝卜和黄瓜的成虫产卵后期没有显著差异, 但却显著长于胡萝卜和蒸馏水的处理。黄粉虫成虫的寿命以添加胡萝卜和黄瓜的处理为最长, 显著长于添加萝卜、马铃薯、白菜和薤菜的处理; 且以添加蒸馏水的处理为最短, 显著短于上述 6 种蔬菜处理 (表 1)。

2.2 不同种类蔬菜对黄粉虫成虫产卵量的影响

添加不同蔬菜对黄粉虫成虫的日均卵量和总产卵量均有显著差异 ($P < 0.001$)。添加萝卜、马铃薯和白菜的成虫产卵期内日均卵量最多, 三者之间无显著差异, 且均显著高于添加薤菜、胡萝卜、黄瓜和蒸馏水的处理; 添加薤菜、胡萝卜、黄瓜的成虫产卵期内日均卵量与添加蒸馏水的处理没有显著差异。然而, 成虫的总产卵量以添加白菜的处理为最多, 显著高于添加薤菜和黄瓜的处理。然而, 添加 6 种蔬菜的总产卵量均显著高于添加蒸馏水的处理 (表 1)。

2.3 添加不同种类蔬菜对黄粉虫成虫存活率和繁殖力的影响

添加不同蔬菜的黄粉虫成虫死亡 50% 所经历的时间不同。其中以添加胡萝卜和黄瓜的时间最长, 萝卜、马铃薯、白菜和薤菜次之, 以添加

表 1 饲喂不同种类蔬菜黄粉虫成虫的繁殖期、寿命和产卵量
Table 1 Oviposition, fecundity and longevity of *Tenebrio molitor* fed on different vegetables at (25±1)°C, RH 70%±5% and dark conditions

	产卵前期 Pre-oviposition (d)	产卵期 Oviposition (d)	产卵后期 Post-oviposition (d)	成虫寿命 Longevity (d)	产卵期内日均卵量 Daily fecundity (egg·female ⁻¹ ·day ⁻¹)	总产卵量 Total fecundity (egg·female ⁻¹)
萝卜 <i>R. sativus</i>	7.1±0.4a	35.2±2.2d	12.1±1.9a	54.3±1.8b	7.0±0.7 a	239.9±29.8ab
马铃薯 <i>S. tuberosum</i>	6.3±0.5a	38.0±4.5cd	11.4±3.2a	55.7±2.1b	7.5±0.8 a	284.1±41.2ab
白菜 <i>B. chinensis</i>	5.8±0.3ab	39.0±2.8cd	12.2±2.1a	57.0±1.3b	8.3±0.7 a	323.3±38.6a
蕹菜 <i>I. aquatica</i>	5.8±0.2ab	44.5±1.8bc	5.2±0.9b	55.5±2.6b	5.0±0.4 b	220.0±19.3b
胡萝卜 <i>D. carota</i>	5.1±0.3b	50.7±3.6ab	9.7±1.2a	65.5±3.9a	4.8±0.6 b	256.4±38.9ab
黄瓜 <i>C. sativus</i>	5.1±0.3b	51.7±2.4a	11.5±1.4a	68.2±2.7a	4.4±0.4 b	226.3±23.6b
蒸馏水 Blank control	5.2±0.2b	24.0±1.2e	4.1±1.1b	33.3±0.3c	4.7±0.5 b	109.7±10.3c
<i>df</i>	6, 87	6, 87	6, 87	6, 87	6, 87	6, 87
<i>F</i>	5.82	14.57	4.40	23.67	7.15	5.36
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

同列数据后标有相同字母表示不同处理间的差异不显著 (Jackknife, LSD, $P<0.05$)。

Data followed by the same letters within a column indicate significantly different among the treatments (Jackknife, LSD, $P<0.05$).

蒸馏水为最短。添加不同蔬菜的成虫产卵高峰期 (每天每雌 4 粒卵) 持续的天数不同。其中以添加萝卜、马铃薯和白菜持续的天数最多, 蕹菜、胡萝卜和黄瓜次之, 添加蒸馏水处理的产卵高峰期仅持续 2 d (图 1)。

2.4 不同种类蔬菜对黄粉虫生殖力生命表参数的影响

添加萝卜、马铃薯、白菜、蕹菜、胡萝卜、黄瓜和蒸馏水的黄粉虫种群生命表参数均有显著差异 ($P<0.001$)。后代性比从大到小依次为马铃薯、萝卜、黄瓜、白菜、胡萝卜、蕹菜和蒸馏水。添加马铃薯和白菜的净增殖率 (R_0) 显著高于添加蕹菜和黄瓜的处理, 并且四者均显著高于添加蒸馏水的处理。而对于世代平均历期 (T) 和种群倍增时间 (t), 添加蒸馏水的处理显著短于其他处理, 以添加胡萝卜和黄瓜的为最长, 显

著长于添加萝卜、白菜和蕹菜的处理。添加萝卜、马铃薯、白菜和蕹菜的内禀增长率 (r_m) 及周限增长率 (λ) 均显著高于添加胡萝卜和黄瓜的处理, 但却显著低于添加蒸馏水处理。

3 讨论

由于多食性的植食性昆虫对不同植物的喜好程度差异, 可能影响昆虫的存活寿命和繁殖过程 (Tsai and Liu, 2000)。同时, 生殖力生命表参数是衡量昆虫种群增长能力的重要指标, 能够有效反映细微环境条件变化对种群增长的影响 (Bintcliffe and Wratten, 1982; Kazimirova, 1996; Rossi *et al.*, 1999), 各参数指标的不同表明黄粉虫对不同蔬菜适应性差异。本研究的结果表明添加萝卜、马铃薯、白菜、胡萝卜、蕹菜和黄瓜 6 种蔬菜对黄粉虫成虫的产卵期、存活寿命、产卵量和生命表参数等均产生不同

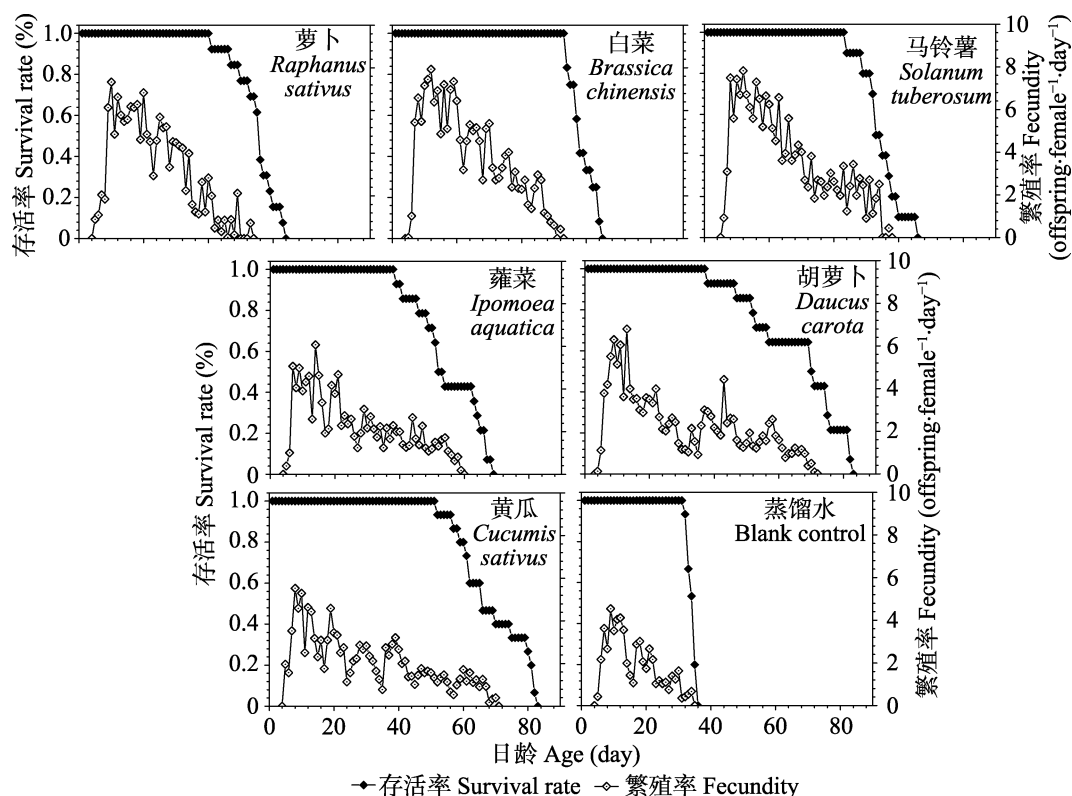


图 1 不同种类蔬菜条件下黄粉虫成虫的存活率和特定年龄繁殖率
Fig. 1 Proportion of population surviving and age-specific fecundity of *Tenebrio molitor* fed on different kinds of vegetable at (25±1)°C, RH 70%±5% and dark conditions

表 2 不同种类蔬菜条件下黄粉虫生殖力生命表参数
Table 2 Life table parameters of *Tenebrio molitor* fed on different kinds of vegetable at (25±1) °C, 70%±5% RH and dark conditions

	性比 Sex ratio	净增殖率 R_0 Net reproductive rate	世代平均历期 T Mean generation time (day)	内禀增长率 r_m Intrinsic rate of increase	种群倍增时间 t Doubling time for population (day)	周限增长率 λ Finite rate of increase
萝卜 <i>R. sativus</i>	1.85	156.27±19.49ab	22.19±0.80c	0.227 8±0.007 8b	3.039 5±0.104 6bc	1.255 7±0.009 8b
马铃薯 <i>S. tuberosum</i>	1.92	186.70±27.11a	24.17±1.35bc	0.216 3±0.009 5b	3.198 0±0.142 1b	1.241 4±0.011 8b
白菜 <i>B. chinensis</i>	1.37	186.71±22.31a	23.09±0.87c	0.226 6±0.004 9b	3.056 9±0.066 2bc	1.254 4±0.006 2b
蕹菜 <i>I. aquatica</i>	1.18	118.59±10.43b	21.19±0.91c	0.221 7±0.007 0b	3.073 3±0.125 2b	1.247 8±0.008 5b
胡萝卜 <i>D. carota</i>	1.36	143.61±21.17ab	26.43±0.98ab	0.188 2±0.005 8c	3.679 9±0.113 5a	1.206 9±0.007 0c
黄瓜 <i>C. sativus</i>	1.43	130.43±13.04b	27.28±1.53a	0.178 2±0.009 6c	3.877 3±0.210 4a	1.195 3±0.011 5c
蒸馏水 Blank control	1.14	58.41±5.50c	15.78±0.56d	0.257 7±0.011 0a	2.684 3±0.116 9c	1.293 9±0.014 3a
<i>df</i>	—	6, 87	6, 87	6, 87	6, 87	6, 87
<i>F</i>	—	6.79	14.72	10.92	9.79	10.81
<i>P</i>	—	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

同列数据后标有相同字母表示不同处理间的差异不显著 (Jackknife, LSD, $P<0.05$)
Data followed by the same letters within a column indicate no significantly different among the treatments (Jackknife, LSD, $P<0.05$).

程度的影响。产生差异的原因可能是由于不同蔬菜的营养成分与雌性个体的营养需求不匹配造成的。

本研究的结果表明,黄粉虫成虫的产卵期和寿命以添加黄瓜的为最长。但是,其日均产卵量却最少,内禀增长率和周限增长率最低,而种群倍增时间最长。这表明尽管在黄粉虫成虫日常饲料中添加黄瓜有助于延长产卵期和存活寿命,但对种群增长的促进作用却小于其他蔬菜。同样,添加胡萝卜的黄粉虫其产卵期和寿命与添加黄瓜的没有显著差异,其总产卵量与卵量最多的白菜处理也无显著差异,这与王立新等(2005)认为的在黄粉虫成虫时期添加胡萝卜可以提高其繁殖力的结果相吻合。然而,通过进一步的研究却表明添加胡萝卜的成虫其后代性比较低,种群的世代平均时间和倍增时间显著拉长,内禀增长率和周限增长率最低,与其他蔬菜相比对黄粉虫种群增长的促进作用较小。

添加萝卜、马铃薯、白菜和薤菜的黄粉虫在世代平均历期、内禀增长率、种群倍增时间和周限增长率等4个参数上均没有显著差异。但是添加薤菜的成虫日均产卵量和总产卵量却显著少于前三者,这可能是由于后代雄性比例过高所导致,进而降低种群净增值率,不利于商品黄粉虫的周年繁殖饲养。

值得一提的是,尽管添加蒸馏水的处理其内禀增长率和周限增长率最大,世代平均历期和种群倍增时间也最短。但是,其产卵期、寿命和总产卵量远小于其他处理,其净增值率甚至仅为最高的白菜处理的三分之一。因此,在黄粉虫成虫饲料上添加水分能够基本维持种群数量,但却无助于商品黄粉虫的大量繁殖饲养。

多食性昆虫取食所嗜食物不仅能够加快生长发育,降低死亡率,还能提高个体繁殖力,增加种群数量(雷朝亮和荣秀丽,2003)。从本研究可以看出以萝卜、马铃薯和白菜是黄粉虫成虫的嗜食食物,作为蔬菜能够显著提高黄粉虫的产卵量和种群增长速度。闽西北的冬春季节比较适合萝卜和马铃薯的生长,而白菜在夏秋季节也能够很好的生长(谢世清,1992;谭亮萍和寿森炎,

2006)。因此,在闽西北地区饲养黄粉虫成虫添加蔬菜采用以白菜为主,萝卜和马铃薯为辅的方式比较合适。

参考文献 (References)

- Aribi N, Smagghe G, Lakbar S, Soltani-Mazouni N, Soltani N, 2006. Effects of pyriproxyfen, a juvenile hormone analog, on development of the mealworm, *Tenebrio molitor*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 84(1): 55–62.
- Bintcliffe EJB, Wratten SD, 1982. Antibiotic resistance in potato cultures to the aphid *Myzus persicae*. *Annals of Applied Biology*, 100(2): 383–391.
- Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *The Journal of Animal Ecology*, 17(1): 15–26.
- Carey JR, 1989. The multiple decrement life table: a unifying framework for cause-of-death analysis in ecology. *Oecologia*, 78(1): 131–137.
- De Bortoli SA, Otuka AK, Vacari AM, Martins MIEG, Volpe HXL, 2011. Comparative biology and production costs of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) when fed different types of prey. *Biological Control*, 58(2): 127–132.
- Deevey ES, 1947. Life tables for natural populations of animals. *The Quarterly Review of Biology*, 22(4): 283–314.
- Gao HL, Zhou WZ, Zhang L, Li HT, 2006. Effect of different fodders and breeding densities on the larva growth and development of *Tenebrio molitor* L. *Acta Ecologica Sinica*, 26(10): 3258–3264. [高红莉, 周文宗, 张璐, 李洪涛, 2006. 饲料种类和饲养密度对黄粉虫幼虫生长发育的影响. *生态学报*, 26(10): 3258–3264.]
- Hua HX, Yang CJ, Yu C, Hu JF, 2001. The effects of different ecological factors on rearing efficiency of *Tenebrio molitor* L. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 20(4): 337–339. [华红霞, 杨长举, 余纯, 胡建芳, 2001. 饲养条件对黄粉虫幼虫生长的影响. *华中农业大学学报*, 20(4): 337–339.]
- Kazimirova M, 1996. Influence of larval crowding and mating on lifespan and fecundity of *Mamestra brassicae* (Lepidoptera: Noctuidae). *European Journal of Entomology*, 93(1): 45–52.
- Kim YH, Hwang CE, Kim TS, Lee SH, 2012. Risk assessment system establishment for evaluating the potential impacts of imported *Bacillus thuringiensis* maize on a non-target insect, *Tenebrio molitor*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 15(2): 225–229.
- Kuusik A, Harak M, Hiisaar K, Metspalu L, Tartes U, 1995. Studies on insect growth regulating (IGR) and toxic effects of *Ledum palustre* extracts on *Tenebrio molitor* pupae (Coleoptera, Tenebrionidae) using calorimetric recordings. *Thermochimica*

- Acta*, 251(4): 247–253.
- Lei CL, Rong XL, 2003. General Entomology. Beijing: China Agriculture Press. 1–483. [雷朝亮, 荣秀兰, 2003. 普通昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 1–483.]
- Liu N, Fu WD, Zhang GL, Liu YS, 2012. Influence of feeding on *Flaveria bidentis* on growth, development and reproduction in *Tenebrio molitor*. *Journal of Biosafety*, 21(2): 163–166. [刘宁, 付卫东, 张国良, 刘玉升, 2012. 饲喂黄顶菊对黄粉虫生长发育及繁殖的影响. 生物安全学报, 21(2): 163–166.]
- Maia ADH, Luiz, AJB, Campanhola C, 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. *Journal Economic Entomology*, 93(2): 511–518.
- Meyer JS, Ingersoll CG, McDonald LL, Boyce MS, 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife vs. bootstrap techniques. *Ecology*, 67(5): 1156–1166.
- Pappas ML, Broufas GD, Koveos DS, 2007. Effects of various prey species on development, survival and reproduction of the predatory lacewing *Dichochrysa prasina* (Neuroptera: Chrysopidae). *Biological Control*, 43(2): 163–170.
- Rossi AM, Stiling P, Cattell MV, Bowdish TDI, 1999. Evidence for host-associated races in a gall-forming midge: trade-offs in potential fecundity. *Ecological Entomology*, 24(1): 95–102.
- Sun GF, Rong AJ, Xiang Z, 2010. Research on feeding the yellow mealworm with the fermented quail dejecta. *Livestock and Poultry Industry*, 250(2): 40–42. [孙国峰, 戎安江, 向钊, 2010. 发酵鹌鹑粪便饲养黄粉虫的研究. 畜禽业, 250(2): 40–42.]
- Tan LP, Shou SY, 2006. Physiological research on the constitution and succulention in *Raphanus sativus* L. 'S succulent root. *Northern Horticulture*, 30(1): 17–19. [谭亮萍, 寿森炎, 2006. 萝卜肉质根形成与膨大的生理研究. 北方园艺 30(1): 17–19.]
- Tsai JH, Liu YH, 2000. Biology of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on four host plants. *Journal Economic Entomology*, 93(6): 1721–1725.
- Wang LX, Du J, Zhang SJ, Gao DJ, Sun WJ, 2005. Effect of carrot and royal jelly on fecundity of *Tenebrio molitor*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(4): 434–438. [王立新, 杜娟, 张树杰, 高道金, 孙文杰, 2005. 饲喂胡萝卜和蜂王浆对黄粉虫繁殖力的影响. 昆虫知识, 42(4): 434–438.]
- Xie SQ, 1992. Effect of temperature on the tuber initiation and bulking of potato. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 7(4): 244–249. [谢世清, 1992. 温度对马铃薯块茎形成膨大的影响. 云南农业大学学报, 7(4): 244–249.]
- Xu SC, Gu MZ, Liu XW, Yang LL, 2012. Experimental population life table of *Tenebrio molitor* at diferent temperatures. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 41(3): 85–89. [徐世才, 古明昭, 刘小伟, 杨亮亮, 2012. 不同温度下黄粉虫的实验种群生命表. 河南农业科学, 41(3): 85–89.]
- Yang ZF, Ni M, Huang M, Geng BR, 1999a. Adult fertility of *Tenebrio molitor* L. and the factors influencing its larval growth. *Entomological Knowledge*, 36(1): 24–27. [杨兆芬, 倪明, 黄敏, 耿宝荣, 1999a. 黄粉虫成虫繁殖力及影响幼虫发育的因素. 昆虫知识, 36(1): 24–27.]
- Yang ZF, Zeng ZH, Cao CH, Rao XZ, 1999b. Studies on adult fertility of *Tenebrio molitor* L. *Entomological Journal of East China*, 8(1): 103–106. [杨兆芬, 曾兆华, 曹长华, 饶小珍, 1999b. 黄粉虫成虫繁殖力的研究. 华东昆虫学报, 8(1): 103–106.]
- Zeng XW, Wang X, Guo LY, Zhan LJ, Bo WJ, Li Z, Wu GL, Jiang GM, 2012. Effects of fermented cattle dung on the growth and development of *Tenebrio molitor* larvae. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(7): 1945–1951. [曾祥伟, 王霞, 郭立月, 战丽杰, 博文静, 李占, 吴光磊, 蒋高明, 2012. 发酵牛粪对黄粉虫幼虫生长发育的影响. 应用生态学报, 23(7): 1945–1951.]
- Zhang CX, Li BJ, Zhao J, 1995. Effect of temperature on the reproduction of *Tenebrio molitor* L. *Entomological Journal of East China*, 4(1): 31–34. [张传溪, 李宝娟, 赵进, 1995. 温度对黄粉虫成虫繁殖的影响. 华东昆虫学报, 4(1): 31–34.]
- Zheng L, Hou Y, Li W, Yang S, Li Q, Yu ZN, 2013. Exploring the potential of grease from yellow mealworm beetle (*Tenebrio molitor*) as a novel biodiesel feedstock. *Applied Energy*, 101: 618–621.