不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫生长发育和繁殖的影响*

屈荷丽** 段佳鑫 马思源 王少山***

（石河子大学农学院，新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用重点实验室，石河子 832000）

摘 要 **【目的】** 明确棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 人工饲料中不同防腐剂对其生长发育和繁殖的影响，为实验室大规模饲养棉铃虫提供依据。**【方法】** 将田间采集的棉铃虫成虫所产子代，分别用含有防腐剂0.16%山梨酸（饲料 1）、0.16%山梨酸和 0.09%甲醛（饲料 2）、0.16%山梨酸和 0.25%尼泊金甲酯（饲料 3）的人工饲料连续饲养 3 代，测定不同世代棉铃虫的幼虫发育历期、蛹期、蛹重、化蛹率、成虫寿命和产卵量等发育指标。**【结果】** 3 种不同防腐剂配方的人工饲料对棉铃虫幼虫发育历期、化蛹率和蛹重影响显著，其中 F_1 代取食饲料 2 的幼虫发育历期为 14.50 d，显著短于饲喂饲料 3（15.31 d）（$F_{2,337}=4.354$, $P<0.05$），F_2、F_3 代不同饲料间幼虫发育历期差异均不显著（$P>0.05$）；饲料 2 饲养的 3 个世代棉铃虫幼虫化蛹率分别为 83.33%、82.67%、90.67%，均显著高于饲料 1 和饲料 3（F_1 代：$F_{2,6}=40.923$，$P<0.05$，F_2 代：$F_{2,6}=6.454$，$P<0.05$，F_3 代：$F_{2,6}=66.20$，$P<0.05$）；在 F_2、F_3 代，棉铃虫取食不同饲料对雌蛹重影响显著（F_2 代：$F_{2,163}=13.146$，$P<0.05$，F_3 代：$F_{2,163}=7.207$，$P<0.05$），而对羽化率、产卵量和子代卵孵化率等无显著影响（$P>0.05$）。**【结论】** 饲料 2 使用山梨酸和甲醛作为人工饲料防腐剂，能显著降低棉铃虫幼虫死亡率，获得成虫数量最多，且成虫繁殖力高，更适合棉铃虫的大量饲养。

关键词 棉铃虫；防腐剂；人工饲料；发育历期；化蛹率；繁殖力

Effect of different artificial diet preservatives on the growth and reproduction of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*

QU He-Li** DUAN Jia-Xin MA Si-Yuan WANG Shao-Shan***

(Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization, Xinjiang Uygur Autonomous Region, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

Abstract **[Aim]** To determine the effects of different artificial diet preservatives on the growth, development and reproduction of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in order to improve the captive propagation of this species. **[Methods]** Offspring of *H. armigera* were collected in the field and randomly assigned to one of three treatment groups (diet 1, diet 2 and diet 3), which were fed artificial diets with different preservatives for three generations. The preservative in diet 1 was sorbic acid, that in diet 2 was sorbic acid and formaldehyde and that in diet 3 was sorbic acid and methylparaben. Developmental indices of larvae in each treatment group, such as developmental duration, pupation rate, pupal weight and egg production, were measured and compared. **[Results]** The different preservatives had a significant effect on developmental duration, pupation rate and pupal weight, but no significant effect in female fecundity or the hatching rate of eggs laid by females raised on each diet. After 3 generations, larvae raised on diet 2 had a significantly higher pupation rate than those raised on diet 1 or diet 3, and the highest female fecundity. **[Conclusion]** Using a combination of sorbic acid and formaldehyde as the preservative of an artificial diet for *H. armigera* can significantly reduce larval mortality, increase the number of adults produced and adult female fecundity.

*资助项目 Supported project：石河子大学农学院教改项目（nxyjb-2021-15）

**第一作者 First author，E-mail：quheli2@163.com

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

收稿日期 Received：2023-12-15；接受日期 Accepted：2024-08-09

Key words　*Helicoverpa armigera*; preservative; artificial diets; developmental duration; pupation rate; fecundity

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 是一种世界性农业害虫，因其寄主多、食性杂、危害大和抗药性发展快等原因，对棉铃虫生理、抗药性及防治等方面的研究从未间断，并逐渐向更深入和高新的领域发展（吴益东等，2021；李祥等，2023）。这些研究工作都需要大量的发育整齐、生理标准一致和生长健壮的试虫，因此使用人工饲料替代天然食物大规模饲育试虫成为常用的技术。

优良的人工饲料除为昆虫的生长发育和繁殖提供全面均衡的营养外，还应具备一定的防腐抗病性能。防腐剂作为人工饲料的重要成分，在抑制微生物生长的同时，对昆虫的生长发育也会产生不同影响（Gifawesen *et al.*，1975；Dunkel and Read，1991；雷朝亮，2011）。家蚕 *Bombyx mori* 人工饲料中山梨酸浓度达 0.6%时，防腐效果良好，幼虫取食活跃（王延年等，1984）；粘虫 *Leucania separata* 人工饲料中添加 0.3%山梨酸时，会使部分幼虫死亡，化蛹率降低（毕富春，1986）；梨小食心虫 *Grapholitha molesta* 饲料中添加山梨酸和甲醛作为防腐剂，与山梨酸和尼泊金甲酯组合相比，防腐效果差，幼虫至成虫的发育历期延长且死亡率显著增加（杜娟等，2010）；在甘薯天蛾 *Herse convolvuli* 人工饲料中，甲醛能提高防腐效果，降低幼虫死亡率（樊建庭，2003）。防腐剂的使用不仅影响昆虫的生长发育，对其繁殖也会产生重要影响（Alverson and Cohen，2002；阿布都热合曼·吐尔逊等，2011）。例如，尼泊金甲酯和乙酯混用使雄性黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 生殖力减弱，并通过交配遗传给子代（潘晨光，2016）。因此，在某种意义上，防腐剂是决定能否大规模繁育昆虫的重要因素之一（Sikorowski and Lawrence，1994；王业成，2014）。

国内关于棉铃虫人工饲料的研究多从营养成分与配比方面开展，对饲料配方进行了不断优化（Wu and Gong，1997；姜兴印等，2000；李俊等，2010），而关于棉铃虫人工饲料中防腐剂的研究较少。本研究选用棉铃虫人工饲料常使用的山梨酸、尼泊金甲酯和甲醛作为防腐剂，综合评价其对棉铃虫生长发育和繁殖的影响，为棉铃虫规模化饲养提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

1.1.1　供试昆虫　2021 年 7 月，在石河子大学试验站（43°26′-45°20′N，84°58′-86°24′E）用黑光灯诱捕棉铃虫成虫，将诱集的成虫带回实验室，放入 5 L 的烧杯中，烧杯口用纱布覆盖，以 10%蜂蜜水作为营养补充。成虫交尾产卵后，收集同天同批次的卵，装入自封袋，置于温度（27±0.5）℃，相对湿度 70%±5%，光周期 16 L∶8 D 的人工气候箱中，待其孵化，作为 F_1 代供试虫源。

1.1.2　试验器材　MLS-3750 高压灭菌锅，日本三洋工业株式会社；FLY-YS-828LD 低温冷藏柜，北京福亿联医疗设备有限公司；BIC-250 型智能人工气候箱，上海博讯医疗仪器股份有限公司；BS110S 电子天平，北京赛多利斯有限公司；SZ61 体视显微镜，南京奥林巴斯公司。

1.1.3　人工饲料配方及试剂来源　棉铃虫人工饲料配方参照蒋金炜等（2010），饲料 2 与其配方一致，饲料 1 和饲料 3 在饲料 2 基础上仅改变防腐剂配方，具体配方及试剂来源见表 1。

1.2　试验方法

1.2.1　不同防腐剂配方棉铃虫人工饲料的配制　提前将黄豆粉和麦麸在烘箱中 100-120 ℃灭菌 2 h，按照表 1 称取各组分。将 600 mL 蒸馏水煮沸，加入麦麸 150 g、黄豆粉 80 g、酵母粉 30 g 和蔗糖 20 g，搅拌均匀；将 750 mL 蒸馏水加热，加入 40 g 干酪素和 20 g 琼脂粉，煮沸至琼脂完全溶化后，倒入之前拌匀的麦麸等混合物，再次搅拌均匀；将抗坏血酸 3 g、复合维生素 8 g 和乙酸 4 mL 溶于 150 mL 无菌水中，待饲料冷却至 50 ℃时加入，并分别添加不同种类防腐剂：（1）山梨酸 3 g（饲料 1）；（2）山梨酸 3 g 和甲

表 1 棉铃虫人工饲料配方

Table 1 Formulas of artificial diet for *Helicoverpa armigera*

成分 Components	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	来源 Source
黄豆粉 Soybean flour	80 g	80 g	80 g	市场购买 Market purchase
麦麸 Wheat bran	150 g	150 g	150 g	市场购买 Market purchase
酵母浸粉 Yeast powder	30 g	30 g	30 g	上海麦克林生化有限公司 Shanghai Macklin Biochemical Co., Ltd.
琼脂 Agar	20 g	20 g	20 g	北京奥博星生物技术有限责任公司 Beijing Aoboxing Biotechnology Co., Ltd.
蔗糖 Sucrose	20 g	20 g	20 g	上海麦克林生化有限公司 Shanghai Macklin Biochemical Co., Ltd.
干酪素 Casein	40 g	40 g	40 g	上海麦克林生化有限公司 Shanghai Macklin Biochemical Co., Ltd.
复合维生素 Compound vitamin	8 g	8 g	8 g	天津市福晨化学试剂厂 Tianjin Fuchen Chemical Reagent Factory
抗坏血酸 Ascorbic acid	3 g	3 g	3 g	上海麦克林生化有限公司 Shanghai Macklin Biochemical Co., Ltd.
冰乙酸 Acetic acid	4 mL	4 mL	4 mL	天津市鑫铂特有限公司 Tianjin Xinbote Co., Ltd.
山梨酸 Sorbic acid	3 g	3 g	3 g	上海麦克林生化有限公司 Shanghai Macklin Biochemical Co., Ltd.
37%甲醛 37% Formaldehyde	0 mL	2 mL	0 mL	成都科龙化工试剂厂 Chengdu Kelong Chemical Reagent Factory
尼泊金甲酯 Methyl paraben	0 g	0 g	3.7 g	天津市福晨化学试剂厂 Tianjin Fuchen Chemical Reagent Factory
蒸馏水 Distilled water	1 500 mL	1 500 mL	1 500 mL	实验室自制 Laboratory self-made

醛 2 mL（饲料 2）;（3）山梨酸 3 g 和尼泊金甲酯 3.7 g（饲料 3），迅速搅拌均匀，倒入白瓷盘中完全冷却后，贴上标签，盖上保鲜膜放入 4 ℃冰箱备用。

1.2.2 棉铃虫发育指标的测定 取同批初孵幼虫，随机用毛笔接入装有人工饲料(0.5 cm×0.5 cm×1 cm)的指形管（直径 1.5 cm，高 8 cm）内，每管 1 头，以棉塞封口，定期更换饲料，每 24 h 观察记录幼虫的发育情况，直至幼虫死亡或化蛹，每个处理 150 头，均分为 3 组，计算化蛹率、畸形蛹率。幼虫化蛹 2 d 后，取出在体视显微镜下分辨雌雄（郭予元，1998），并用电子天平逐个称重，重新放入指形管中，放回人工气候箱，每 12 h 观察记录一次蛹的发育情况，直至成虫羽化结束，计算羽化率、性比。待蛹羽化为成虫，取同天初羽化的成虫按雌雄比 1∶1 配对，每 2 对放入一个 1 000 mL 烧杯中，以 10%蜂蜜水饲养，烧杯用纱布封口供棉铃虫产卵，每 24 h 更换纱布，观察并记录产卵量，直至成虫死亡，每个处理重复 5 次。在各处理组棉铃虫交配第 4 天，剪取有 200 粒左右卵的纱布放入自封袋，置于温度（27±0.5）℃、相对湿度 70%±5%、光周期 16 L∶8 D 的人工气候箱内，每 12 h 观察卵的孵化情况，孵化后每 4 h 观察 1 次，直至不再有幼虫孵出，计算子代卵孵化率，每处理重复 3 次。依据上述处理，连续饲养 3 代棉铃虫，并观察记录相关发育指标。

1.3 数据分析

棉铃虫幼虫发育历期、化蛹率、畸形蛹率、羽化率、蛹重、性比、雌虫和雄虫寿命、单雌产卵量、卵孵化率等数据采用 SPSS 23.0 软件中 One-way ANVOA 进行方差分析，并利用 Duncan 氏新复极差法进行显著性检验。同一世代相同配

方饲料饲养的雌蛹和雄蛹蛹重用独立样本 *t* 检验比较差异显著性。

化蛹率=蛹的数量/幼虫总数 × 100%，

畸形蛹率=畸形蛹数量/蛹总数 × 100%，

羽化率=羽化成虫数/蛹总数 × 100%，

孵化率=孵化幼虫数/卵总数 × 100%。

2　结果与分析

2.1　不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫发育历期的影响

不同防腐剂配方人工饲料饲喂的棉铃虫，其幼虫发育历期仅在 F_1 代表现出差异($F_{2,337}$ = 4.354, $P < 0.05$)，取食饲料 2 的 F_1 代棉铃虫，幼虫发育历期最短，为 14.50 d，显著短于饲料 3 处理（15.31 d）（图 1：A）。相同饲料处理下，不同世代幼虫的发育历期差异显著（饲料 1：$F_{2,328} = 23.838$，$P < 0.05$，饲料 2：$F_{2,382} = 12.997$，$P < 0.05$ 饲料 3：$F_{2,309} = 28.985$，$P < 0.05$），取食不同饲料的 F_3 代棉铃虫与 F_1 和 F_2 代相比，幼虫发育历期最短（图 1：A）。3 种不同饲料处理下，同一世代棉铃虫蛹的发育历期（图 1：B）和雌、雄成虫寿命（图 1：C，D）均无显著差异（$P > 0.05$）。同一饲料处理下，F_2 和 F_3 代蛹的发育历期相比 F_1 代显著延长，不同世代间差异显著（饲料 1：$F_{2,261} = 28.044$，$P < 0.05$，饲料 2：

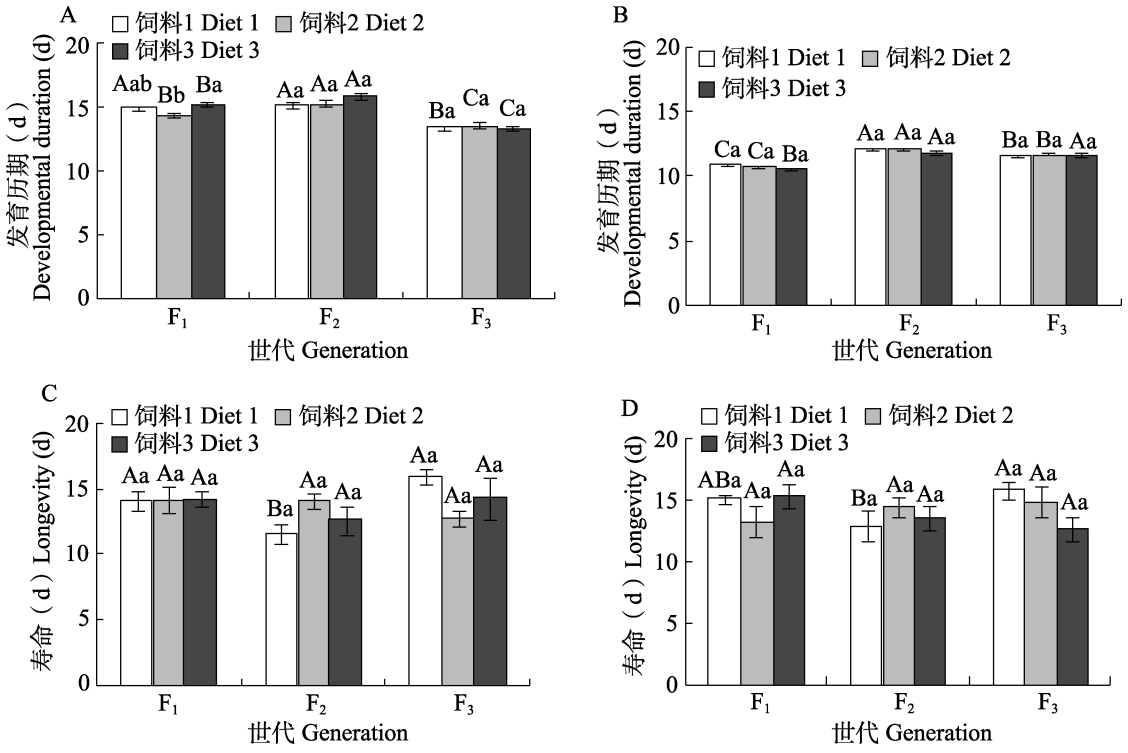


图 1　不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫发育历期的影响

Fig. 1　Effects of artificial diets with different preservative formalus on developmental duration of *Helicoverpa armigera*

A. 幼虫发育历期；B. 蛹发育历期；C. 雌蛾寿命；D. 雄蛾寿命。

A. Larval developmental duration; B. Pupal developmental duration; C. Female longevity; D. Male longevity.

图中数据为平均值±标准误。柱上不同大写字母表示同一防腐剂配方饲料在不同世代处理间经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著（$P < 0.05$），不同小写字母表示同一世代下不同防腐剂配方饲料处理经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著（$P < 0.05$）。下图同。

Data in the figure are mean±SE. Different capital letters above bars indicate significant difference among different generations of the same preservative diet by Duncan's new multiple range test ($P < 0.05$), and different lowercase letters indicate significant difference among different preservative diets in the same generation by Duncan's new multiple range test ($P < 0.05$). The same below.

$F_{2,330}$ = 44.148，P < 0.05，饲料 3：$F_{2,259}$ = 30.752，P < 0.05）（图 1：B）。饲料 1 处理下，F_2 代雌、雄成虫的寿命分别为 11.60 和 12.90 d，均显著低于其他世代（雌：$F_{2,27}$ = 9.524，P < 0.05 雄：$F_{2,27}$ = 2.524，P < 0.05）（图 1：C，D）。

2.2 不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫化蛹率、畸形蛹率、羽化率和子代卵孵化率的影响

3 种不同防腐剂配方人工饲料处理，F_1-F_3 代棉铃虫的化蛹率均有显著差异（F_1 代：$F_{2,6}$ = 40.923，P < 0.05，F_2 代：$F_{2,6}$ = 6.454，P < 0.05，F_3 代：$F_{2,6}$ = 66.20，P < 0.05），且同一世代中，饲料 2 处理的化蛹率都高于其他处理（表 2）。取食饲料 2 的 F_1 代棉铃虫幼虫化蛹率为 83.33%，相比饲料 1 和饲料 3 处理分别高 17.33%和 5.30%；F_2 代饲料 2 饲喂的棉铃虫化蛹率相比 F_1 代虽有下降，仍比饲料 1 处理的高 22.00%；F_3 代其幼虫化蛹率达 90.67%，比饲料 3 处理高 39.34%。F_1-F_3 代棉铃虫在不同饲料的畸形蛹率、羽化率和子代卵孵化率均无显著差异（P > 0.05）（表 2）。取食饲料 1 的 F_1 和 F_2 代棉铃虫，蛹羽化率高于饲料 2 和饲料 3 处理，均在 90%以上，但 F_3 代棉铃虫的蛹羽化率降至 72.37%，显著低于 F_1（91.88%）和 F_2 代（90.75%）（$F_{2,6}$ =30.618, P < 0.05）。

表 2 不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫化蛹率、畸形蛹率、羽化率和卵孵化率的影响

Table 2 Effects of artificial diets with different preservative formulas on pupation rate, abnormal pupa rate, emergence rate and hatching raet of *Helicoverpa armigera*

世代 Generations	处理 Treatments	化蛹率（%） Pupation rate (%)	畸形蛹率（%） Abnormal pupa rate (%)	羽化率（%） Emergence rate (%)	孵化率（%） Hatching rate (%)
F_1	饲料 1 Diet 1	66.00±1.15 Bc	2.05±1.03 Aa	91.88±1.12 Aa	92.30±1.42 Aa
	饲料 2 Diet 2	83.33±0.67 Aa	6.35±1.59 Aa	88.03±2.32 Aa	89.48±1.41 Aa
	饲料 3 Diet 3	78.00±2.00 Ab	5.26±4.02 Aa	82.71±5.91 Aa	93.05±1.88 Aa
F_2	饲料 1 Diet 1	60.67±1.76 Bb	4.93±2.48 Aa	90.75±2.87 Aa	86.85±3.13 Aa
	饲料 2 Diet 2	82.67±5.21 Aa	4.67±0.37 Aa	89.28±4.66 Aa	91.95±1.58 Aa
	饲料 3 Diet 3	79.33±5.93 Aa	2.33±1.31 Aa	90.69±3.68 Aa	89.13±1.92 Aa
F_3	饲料 1 Diet 1	89.33±2.40 Aa	7.70±4.72 Aa	72.37±1.51 Ba	91.45±2.39 Aa
	饲料 2 Diet 2	90.67±3.71 Aa	6.67±2.72 Aa	84.76±2.69 Aa	87.35±2.64 Aa
	饲料 3 Diet 3	51.33±1.76 Bb	4.01±2.41 Aa	84.63±5.46 Aa	92.53±2.28 Aa

表中数据为平均值±标准误。同列数据后标有不同大写字母表示同一防腐剂配方饲料在不同世代处理间经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著（P < 0.05），不同小写字母表示同一世代下不同防腐剂配方饲料处理经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著（P < 0.05）。下表同。

Data in the table are mean±SE. Different capital letters within the same column indicate significant difference among different generations of the same preservative diet by Duncan's new multiple range test (P < 0.05), and different lowercase letters indicate significant difference among different preservative diets in the same generation by Duncan's new multiple range test (P < 0.05). The same below.

2.3 不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫蛹重的影响

同一世代棉铃虫幼虫取食不同饲料，在 F_1 代对雌蛹重并无显著影响($F_{2,170}$ = 1.284，P>0.05)，而在 F_2 和 F_3 代有显著影响（F_2 代：$F_{2,163}$ = 13.146，P < 0.05，F_3 代：$F_{2,163}$ = 7.207，P < 0.05），其中取食饲料 1 的棉铃虫，F_2 代雌蛹蛹重为 331.24 mg，显著高于饲料 2（297.98 mg）和饲料 3（303.40 mg）（$F_{2,163}$ = 13.146，P < 0.05）；取食饲料 2 的棉铃虫，F_3 代雌蛹蛹重为 275.04 mg，显著低于饲料 1（298.72 mg）和饲料 3（295.83 mg）（$F_{2,163}$ = 7.207，P < 0.05）（表 3）。F_1 和 F_2 代棉铃虫，均以取食饲料 1 的雌蛹最重；取食饲料 2 的棉铃虫，F_3 代雌蛹蛹重显著低于 F_1 和 F_2 代（$F_{2,172}$ = 8.323，P < 0.05）；幼虫取食饲料 1 和饲料 2 对 F_1-F_3 代棉铃虫的雌蛹蛹重有显著影响（饲料 1：$F_{2,165}$ = 12.060，P < 0.05，饲料 2：$F_{2,172}$ = 8.323，P < 0.05）取食饲料 3 的棉铃虫，各代雌蛹蛹重没有显著差

异（$F_{2,159}$=1.719，P > 0.05）（表 3）。

F_2 代棉铃虫，取食饲料 1 的雄蛹蛹重最高（333.48 mg），显著高于饲料 2（312.75 mg）和饲料 3（303.14 mg）（$F_{2,165}$ = 7.425，P < 0.05）；F_1 和 F_3 代，取食不同防腐配方饲料的棉铃虫雄蛹蛹重无显著差异（$F_{2,161}$ = 0.865，P > 0.05，$F_{2,172}$ = 2.109，P > 0.05）；取食饲料 1、饲料 2 的棉铃虫各代雄蛹重有显著差异（饲料 1：$F_{2,153}$ = 16.437，P < 0.05，饲料 2：$F_{2,201}$ = 15.943，P <0.05）（表 3）。

表 3　不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫蛹重的影响

Table 3　Effects of artificial diets with different preservative formulas on pupa weight of *Helicoverpa armigera*

世代 Generations	处理 Treatments	雌蛹蛹重（mg） Female pupa weight (mg)	雄蛹蛹重（mg） Male pupa weight (mg)
F_1	饲料 1 Diet 1	302.61±5.26 Ba	305.75±4.11 Ba
	饲料 2 Diet 2	300.65±5.01 Aa*	313.73±4.02 Aa
	饲料 3 Diet 3	292.80±4.00 Aa**	310.69±4.96 Aa
F_2	饲料 1 Diet 1	331.24±4.96 Aa	333.48±5.62 Aa
	饲料 2 Diet 2	297.98±4.84 Ab*	312.75±5.07 Ab
	饲料 3 Diet 3	303.40±4.47 Ab	303.14±5.33 Ab
F_3	饲料 1 Diet 1	298.72±4.70 Ba	291.30±5.50 Ba
	饲料 2 Diet 2	275.04±5.04 Bb	280.42±5.16 Ba
	饲料 3 Diet 3	295.83±4.98 Aa	295.98±5.60 Aa

*和**分别表示同一世代下相同防腐剂配方饲料处理雌蛹和雄蛹的蛹重经 t 检验，在 P < 0.05 和 P < 0.01 水平差异显著。

* and ** indicate significant difference between the weight of female and male pupa on the same preservative diet in the same generation by t-test (*P < 0.05, ** P < 0.01).

不同防腐剂配方人工饲料饲喂的棉铃虫 F_1-F_3 代雌蛹蛹重大多低于雄蛹（表 3）。饲料 2 饲养的 F_1 和 F_2 代棉铃虫雌蛹和雄蛹蛹重差异显著（F_1 代：t_{122} = - 2.061，P < 0.05，F_2 代：t_{119} = - 2.081，P < 0.05），取食饲料 3 的 F_1 代棉铃虫雌蛹和雄蛹蛹重存在极显著差异（t_{113} = - 2.83，P < 0.01）。

2.4　不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫繁殖力、性比及单雌日产卵量的影响

以 3 种不同防腐剂配方人工饲料继代饲养棉铃虫，结果表明，不同饲料处理下，同一世代棉铃虫的产卵前期无显著差异（P > 0.05）（表 4）。F_1-F_3 代棉铃虫，均以取食饲料 1 产卵前期最短且相对稳定。取食不同饲料的 F_1-F_3 代棉铃虫，产卵前期略有延长，其中，取食饲料 3 的 F_3 代棉铃虫产卵前期最长为 3.40 d 。

取食不同防腐剂配方人工饲料的 F_1 代棉铃虫产卵期差异不显著（P > 0.05）（表 4），分别为 12.80、12.80 和 12.40 d，F_2 代取食饲料 1 的棉铃虫产卵期为 8.40 d，显著短于饲料 2（10.00 d）和饲料 3 处理（10.20 d）（$F_{2,12}$=4.171，P < 0.05），饲喂至 F_3 代时，棉铃虫产卵期为 9.80 d，显著长于饲料 3 处理（8.00 d）（P < 0.05）F_1 至 F_3 代棉铃虫的产卵期均显著缩短（饲料 1：$F_{2,12}$=20.486，P < 0.05，饲料 2：$F_{2,12}$ = 11.433，P < 0.05，饲料 3：$F_{2,12}$ = 16.133，P < 0.05）。

同一世代不同饲料饲养的棉铃虫，其单雌产卵量没有显著差异（P > 0.05）。取食饲料 2 的 F_2 代棉铃虫平均单雌产卵量为 752.90 粒，显著低于 F_3 代（$F_{2,12}$ = 4.454，P < 0.05），取食饲料 1 和饲料 3 的不同世代棉铃虫单雌产卵量差异不显著（P > 0.05）（表 4）。

取食不同饲料的同一世代棉铃虫及取食同种饲料不同世代的棉铃虫，其雌雄性比没有显著差异（P > 0.05）（表 4）。除取食饲料 2 的 F_1 和 F_2 代棉铃虫的性比略低，饲料 1 和饲料 3 处理的性比都接近于 1.00。

取食 3 种不同饲料的 F_1-F_3 代棉铃虫单雌日均产卵高峰期均在成虫交配后第 3 天开始，饲料 1 处理下，不同世代棉铃虫的产卵高峰期相较饲

表 4 不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫繁殖力和性比的影响

Table 4 Effects of artificial diets with different preservative formulas on fecundity and sex ratio of *Helicoverpa armigera*

世代 Generations	处理 Treatments	产卵前期（d） Pre-oviposition period (d)	产卵期（d） Oviposition period (d)	单雌产卵量（粒） Oviposition quantity per female (grains)	性比 Sex ratio
F_1	饲料 1 Diet 1	1.80±0.20 Aa	12.80±0.73 Aa	958.80±122.51 Aa	1.02±0.18 Aa
	饲料 2 Diet 2	2.20±0.20 Aa	12.80±0.49 Aa	1 031.40±78.27 ABa	0.73±0.10 Aa
	饲料 3 Diet 3	2.00±0.45 Ba	12.40±0.81 Aa	965.20±60.22 Aa	1.44±0.39 Aa
F_2	饲料 1 Diet 1	2.40±0.24 Aa	8.40±0.24 Bb	902.20±29.55 Aa	0.83±0.10 Aa
	饲料 2 Diet 2	2.40±0.24 Aa	10.00±0.70 Ba	752.90±142.34 Ba	0.64±0.07 Aa
	饲料 3 Diet 3	2.40±0.24 ABa	10.20±0.37 Ba	1 015.70±163.70 Aa	1.02±0.31 Aa
F_3	饲料 1 Diet 1	2.40±0.24 Aa	9.80±0.37 Ba	917.30±125.63 Aa	1.03±0.15 Aa
	饲料 2 Diet 2	3.00±0.32 Aa	8.60±0.68 Bab	1 302.40±155.17 Aa	1.18±0.41 Aa
	饲料 3 Diet 3	3.40±0.40 Aa	8.00±0.32 Cb	963.20±95.38 Aa	1.07±0.40 Aa

料 2 和饲料 3 处理延迟（图 2）。取食饲料 1、饲料 2 和饲料 3 的 F_1 代棉铃虫日产卵量分别在第 7、4 和 5 天达到最高峰，为 140.5、143.4 和 172.1 粒；F_2 代棉铃虫日产卵量分别在第 6、7 和 4 天达到最高峰，为 182.5、139.6 和 189.6 粒；F_3 代日产卵量分别在第 8、4 和 6 天达到最高峰，为 178.0、271.9 和 167.9 粒（图 2）。取食不同饲料的 F_1 和 F_3 代棉铃虫产卵高峰期持续时间趋于一致，取食饲料 1 和饲料 2 的 F_2 代棉铃虫产卵高峰持续时间短于饲料 3 处理（图 2）。

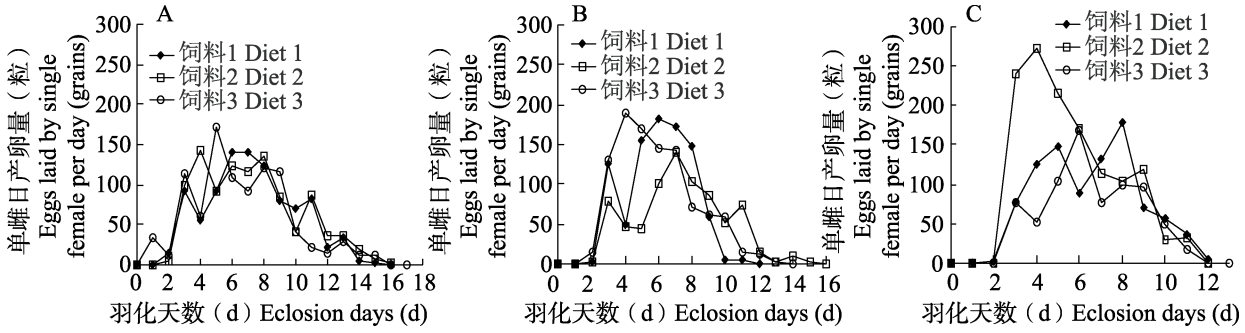


图 2 不同防腐剂配方人工饲料对棉铃虫日产卵量的影响

Fig. 2 Effects of artificial diets with different preservatives on eggs laid per female adult per day of *Helicoverpa armigera*

A. F_1; B. F_2; C. F_3.

3 结论与讨论

昆虫人工饲料中添加防腐剂能够抑制微生物的生长繁殖，防止其腐败变质，在保证饲料营养和品质的同时，延长保质期是人工饲料的基本要求。但其在发挥抗菌作用的同时，对昆虫的一些发育指标也会产生消极或积极的影响（Dunkel and Read，1991）。防腐剂对昆虫的消极作用常表现为幼虫和蛹的发育历期延长，化蛹率、羽化率降低（王延年等，1984）以及繁殖力下降（顾蔚等，2009；阿布都热合曼·吐尔逊等，2011）。亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 人工饲料研究表明，饲料营养成分完全相同，用 0.11%山梨酸和 0.29%甲醛混合作为防腐剂与仅使用 0.11%山梨酸相比，亚洲玉米螟世代周期延长，幼虫和蛹的死亡率显著增加，可能是由于甲醛降低了其免疫力导致（乔利等，2008）。梁革梅等（1999）和张志刚等（2000）对棉铃虫饲养技术的研究表明，在棉铃虫幼虫饲料中加入适量甲醛，在减少饲料污染的同时，对棉铃虫幼虫的生长发育无显著影

响，并能有效抑制微孢子虫病的发生。本研究结果表明，在人工饲料中分别添加 0.16%山梨酸（饲料 1）、0.16%山梨酸和 0.09%甲醛（饲料 2）、0.16%山梨酸和 0.25%尼泊金甲酯（饲料 3）连续饲养 3 代棉铃虫，同世代取食不同饲料的棉铃虫幼虫的发育历期仅在 F_1 代差异显著，饲料 2 饲喂的棉铃虫幼虫发育历期最短，F_2 和 F_3 代各处理间幼虫发育历期均无显著差异。取食相同饲料的棉铃虫，F_3 代幼虫发育历期与 F_1 代相比均有缩短，这可能是经过一段时间取食后，昆虫通过调节体内物质的代谢途径和速率，对饲料表现出适应性（李兴鹏，2020）。F_1 至 F_3 代，相同世代不同饲料饲喂的棉铃虫的化蛹率均有显著差异，饲料 2 中添加山梨酸和甲醛作为防腐剂，幼虫的感病死亡率降低，3 个世代的化蛹率显著高于其他两种饲料，这与张志刚等（2000）的研究结果一致，与乔利等（2008）对亚洲玉米螟及杜娟等（2010）对梨小食心虫人工饲料的研究结果相反。可能是不同种昆虫对防腐剂敏感度不同，应用中使用剂量也不同，呈出的结果也就不同。

昆虫幼虫取食不仅影响未成熟期的生长发育，也影响成虫的繁殖力，并表现出一致性（江幸福等，1999）。例如，黑腹果蝇幼虫取食含尼泊金甲酯和尼泊金乙酯的培养基后，其生长、生殖发育指标均有所降低，且体内蜕皮激素和保幼激素含量及相关基因表达都受到影响（陈琦，2016）。吴坤君和李明辉（1993）研究表明，昆虫的繁殖力取决于蛹重和羽化后营养条件，幼虫期的食物决定其潜在繁殖力，即蛹重大小，而成虫期的营养决定其现实繁殖力（Pianka，1976）。本研究结果表明，相同世代取食不同饲料的棉铃虫，雌蛹蛹重在 F_2 和 F_3 代具有显著差异，取食饲料 2 的棉铃虫幼虫，F_2 代雌蛹重显著低于饲料 1，F_3 代雌蛹重显著低于饲料 1 和饲料 2，其 F_2 代成虫的产卵量因 1 对雌、雄蛾交配产卵过程中存在交配器官勾连无法分离现象（试验中其他世代及饲料配方并未发现此现象，是否与防腐剂有关需要进一步验证），产卵量有所下降，F_1、F_3 代产卵量均高于后两者，三者间产卵量及子代卵孵化率差异并不显著，即幼虫期取食添加不同防腐剂的人工饲料，对其成虫繁殖力没有显著影响，这与侯茂林和盛承发（2000）研究结果一致。

综上所述，试验剂量下使用 3 种防腐剂配方的人工饲料连续饲养 3 代，对棉铃虫不同生长阶段的发育指标会产生不同影响。饲料中不同防腐剂的使用影响 F_1 代棉铃虫幼虫发育历期、F_2 和 F_3 代雌蛹蛹重，F_1 至 F_3 代其对幼虫化蛹率影响最大，而对 3 个世代的羽化率、产卵量和性比等并无显著影响。人工饲养昆虫的目的是为了获取更多的试虫，在试验的 3 个世代中，饲料 2（0.16%山梨酸和 0.09%甲醛防腐组合）饲养的棉铃虫化蛹率最高，饲养至 F_3 代仍保持较高产卵量，且没有发现繁殖力衰退现象，适合短期内棉铃虫的饲养，至于饲养中出现的交配器官勾连是否和防腐剂的使用有关，以及长期使用是否会对种群繁殖造成负面影响（蒋金炜等，2010；潘晨光，2016），尚需进一步研究。

参考文献 (References)

Alverson J, Cohen AC, 2002. Effect of antifungal agents on biological fitness of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae). *Journal of Economic Entomology*, 95(2): 256–260.

Bi FC, 1986. Outline of the studies on artificial diets for the armyworm, *Leucania separata* Walker. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1(1): 61–65. [毕富春, 1986. 粘虫人工饲料研究梗概. 华北农学报, 1(1): 61–65.]

Chen Q, 2016. Effects of the mixture of methylparaben and ethylparaben on fecundity and lifespan in *Drosophila melanogaster*. Master dissertation. Xi'an: Shaanxi Normal University. [陈琦, 2016. 对羟基苯甲酸甲酯和乙酯混合对果蝇繁育能力及寿命影响. 硕士学位论文. 西安: 陕西师范大学.]

Du J, Wang YR, Wu JX, 2010. Effect of four different artificial diets on development and reproduction of *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Shanxi Agricultural University* (*Nature Science Edition*), 30(3): 228–231. [杜娟, 王艳蓉, 仵均祥, 2010. 不同饲料配方对梨小食心虫生长发育及繁殖的影响. 山西农业大学学报(自然科学版), 30(3): 228–231.]

Dunkel FV, Read NR, 1991. Review of the effect of sorbic acid on insect survival in rearing diets with reference to other antimicrobials. *American Entomologist*, 37(3): 172–178.

Fan JT, 2003. Studies on bionomies and artificial feedstuff of sweet potato sphinges, *Herse convolvuli*. Master dissertation. Changsha: Hunan Agricultural University. [樊建庭, 2003. 甘薯天蛾若干生物学特性及人工饲养技术研究. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.]

Gifawesen C, Funke BR, Proshold FT, 1975. Control of antifungal resistant strains of *Aspergillus niger* mold contaminants in insect

rearing media. *Journal of Economic Entomology*, 68(4): 441–444.

Gu W, Xie DJ, Hou XW, 2009. Toxicity and estrogen effect of methyl paraben on *Drosophila melanogaster*. *Food Science*, 30(1): 252–254. [顾蔚, 谢德娟, 侯晓薇, 2009. 对羟基苯甲酸甲酯对黑腹果蝇的毒性与雌激素作用. 食品科学, 30(1): 252–254.]

GuoYY, 1998. Study of *Helicoverpa armigera*. Beijing: China Agriculture Press. 5. [郭予元, 1998. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社. 5.]

Hou ML, Sheng CF, 2000. Effects of different foods on growth, development and reproduction of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 43(2): 168–175. [侯茂林, 盛承发, 2000. 食物对棉铃虫生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报, 43(2): 168–175.]

Jiang JW, Ding SB, Zhang YM, Wang Y, 2010. Effects of artificial diet on the growth, development and fecundity in *Helicoverpa armigera*. *Journal of Henan Agricultural University*, 44(1): 78–82. [蒋金炜, 丁识伯, 张艳民, 王永, 2010. 人工饲料对棉铃虫生长发育和繁殖力的影响. 河南农业大学学报, 44(1): 78–82.]

Jiang XF, Luo LZ, Hu Y, 1999. Effects of larval diets on the development, fecundity and flight capacity of adult beet armyworm *Spodoptera exigua*. *Acta Entomologica Sinica*, 42(3): 270–276. [江幸福, 罗礼智, 胡毅, 1999. 幼虫食物对甜菜叶蛾生长发育、繁殖及飞行的影响. 昆虫学报, 42(3): 270–276.]

Jiang XY, Wang KY, Yi MQ, 2000. Overview of artificial diet for *Helicoverpa armigera*. *Entomology Knowledge*, 37(3): 183–185. [姜兴印, 王开运, 仪美芹, 2000. 棉铃虫人工饲料概述. 昆虫知识, 37(3): 183–185.]

Lei CL, 2011. Insect Resource Science. Wuhan: Hubei Science and Technology Press. 293. [雷朝亮, 2011. 昆虫资源学. 武汉: 湖北科学技术出版社. 293.]

Li J, Tan XS, Tan SQ, Yuan ZM, Xiong XY, 2010. Application of improved support vector machine in the optimization of artificial diet for the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Leoidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(4): 420–426. [李俊, 谭显胜, 谭泗桥, 袁哲明, 熊兴耀, 2010. 改进支持向量机在棉铃虫人工饲料配方优化中的应用. 昆虫学报, 53(4): 420–426.]

Li X, Lu WH, Wei JZ, An SH, 2023. Research progress in sex pheromone biosynthesis in *Helicoverpa armigera*. *Plant Protection*, 49(1): 56–63. [李祥, 卢雯慧, 魏纪珍, 安世恒, 2023. 棉铃虫性信息素生物合成研究进展. 植物保护, 49(1): 56–63.]

Li XP, 2020. Influence of two artificial diets to development and cold storage of *arma custos* (Hemiptera: Pentatomidae). Doctor dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [李兴鹏, 2020. 两种人工饲料对蠋蝽 (半翅目: 蝽科) 生长发育和耐冷藏力的影响研究. 博士学位论文. 北京: 北京林业大学.]

Liang GM, Tan WJ, Guo YY, 1999. Improvement of artificial rearing technique of *Helicoverpa armigera*. *Plant Protection*, 25(2): 15–17. [梁革梅, 谭维嘉, 郭予元, 1999. 人工饲养棉铃虫技术的改进. 植物保护, 25(2): 15–17.]

Pan CG, 2016. Studies on the effect of a mixture of methylparaben and ethylaraben on fertility and in vivo accumulation in male *Drosophila melanogaster*. Master dissertation. Xi'an: Shaanxi Normal University. [潘晨光, 2016. 对羟基苯甲酸甲酯和乙酯混合对雄果蝇生殖力影响及体内积累研究. 硕士学位论文. 西安: 陕西师范大学.]

Pianka ER, 1976. Natural selection of optimal reproductive tactics. *American Zoologist*, 16(6): 775–784.

Qiao L, Zheng JW, Cheng WN, Li YP, 2008. Impact of 4 different artificial fodders on life span of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenee). *Journal of Northwest A&F University* (*Natural Science Edition*), 36(5): 109–112. [乔利, 郑坚武, 成卫宁, 李怡萍, 2008. 不同饲料配方对亚洲玉米螟生长发育和繁殖的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 36(5): 109–112.]

Sikorowski PP, Lawrence AM, 1994. Microbial contamination and insect rearing. *Annual Review of Entomology*, 40(4): 240–253.

Tursun A, Zheng Y, Wang YF, 2011. Effect of formaldehyde in diet on development and reproduction of *Drosophila melanogaster*. *Journal of Environmental Entomology*, 33(1): 13–16. [阿布都热合曼·吐尔逊, 郑雅, 王玉凤, 2011. 甲醛对果蝇发育和繁殖的影响. 环境昆虫学报, 33(1): 13–16.]

Wang YC, 2014. The research on the artificial diet of rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenee) (Leoidoptera: Pyralidae). Master dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [王业成, 2014. 稻纵卷叶螟人工饲料的研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]

Wang YN, Zheng ZQ, Zhou YS, 1984. Handbook of Insect Artificial Diet. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 18–19. [王延年, 郑忠庆, 周永生, 1984. 昆虫人工饲料手册. 上海: 上海科学技术出版社. 18–19.]

Wu KJ, Gong PY, 1997. A new and practical artificial diet for the cotton bollworm. *Entomologia Sinica*, 4(3): 277–282.

Wu KJ, Li MH, 1993. Nutritional ecology of the cotton bollwoem *Helicoverpa armigera* (Hübner): Life tables of the population on the artificial diets with different protein level. *Acta Entomologica Sinica*, 36(1): 21–28. [吴坤君, 李明辉, 1993. 棉铃虫营养生态学研究: 取食不同蛋白质含量饲料时的种群生命表. 昆虫学报, 36(1): 21–28.]

Wu YD, Guan F, Shen HW, Yang YH, 2021. Research progress in the resistance status and molecular resistance mechanisms of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* to Bt protein Cry1Ac in China. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 958–963. [吴益东, 管放, 沈慧雯, 杨亦桦, 2021. 我国棉铃虫对 Bt 蛋白 Cry1Ac 抗性现状及分子机制研究进展. 植物保护学报,48(5): 958–963.]

Zhang ZG, Zhong LS, Wang KM, Shang XP, Zhou RH, 2000. Control experiment of microsporida in artificial breeding of cotton bollworm. *Hubei Agricultural Science*, 39(4): 43–45. [张志刚, 钟连胜, 王开梅, 尚秀萍, 周荣华, 2000. 在人工饲养棉铃虫中微孢子虫病的防治试验. 湖北农业科学, 39(4): 43–45.]