香梨优斑螟幼虫人工饲料的筛选与优化*

何晓灵[1**] 张大为[1,2] 郭 欢[1,3] 王浩宇[1,3] 陆宴辉[1***]

（1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害综合治理全国重点实验室，北京 100193；2. 甘肃省农业科学院植物保护研究所，兰州 730070；3. 甘肃农业大学植物保护学院，兰州 730070）

摘 要 【**目的**】发生分布持续扩散的香梨优斑螟 *Euzophera pyriella* 对我国西北地区林果业生产构成了重要威胁。筛选与优化香梨优斑螟幼虫人工饲料配方，为其生物学生态学及防控研究奠定基础。【**方法**】遴选了 3 种人工饲料配方，比较分析不同饲料饲喂香梨优斑螟幼虫生长发育、成虫存活繁殖、种群生命表参数以及饲料成本。【**结果**】取食上述 3 种人工饲料，香梨优斑螟幼虫均能完成世代发育。与已报道的人工饲料 A 和 B 相比，自研人工饲料 C 饲喂幼虫发育速率及存活率、蛹重及后代卵孵化率显著提高（$P<0.05$），其中幼虫存活率由 75.00%和 60.00%提升至 91.67%；人工饲料 C 上种群净增殖率（R_0）、内禀增长率（r）和周限增长率（λ）同样显著增加（$P<0.05$），其中内禀增长率（r）由 0.057、0.059 提升至 0.079。经估算，用人工饲料 C 饲养获得 1 头香梨优斑螟成虫的饲料成本为 0.10 元，较人工饲料 A 和 B 分别降低了 37.50%和 60.00%。【**结论**】综合饲养效果及成本，自研人工饲料 C 更适宜香梨优斑螟室内种群继代饲养。

关键词 香梨优斑螟；人工饲料；种群生命表；幼虫存活率

Screening and optimization of artificial diets for *Euzophera pyriella* larvae

HE Xiao-Ling[1**] ZHANG Da-Wei[1,2] GUO Huan[1,3] WANG Hao-Yu[1,3] LU Yan-Hui[1***]

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 3. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract **[Aim]** To compare the larval survival and development, adult longevity and reproduction, population life table parameters, of *Euzophera pyriella* larvae reared on three different artificial diets, and the relative cost effectiveness of each diet. **[Methods]** *E. pyriella* larvae were randomly assigned to one of three potential artificial diet treatment groups after which the survival, development, adult longevity, reproduction and life table parameters of each group were compared. These data were then used to assess the cost effectiveness of rearing larvae on each diet. **[Results]** Larvae were able to complete their life cycle on all three artificial diets. Compared to the previously developed A and B diets, the newly developed diet C significantly improved the larval development rate, survival rate, pupal weight and egg hatching rate ($P<0.05$). Larval survival increased from 75.00% and 60.00% on diets A and B, to 91.67% on diet C. Furthermore, the population parameters of *E. pyriella* raised on diet C, including the net reproductive rate (R_0), the intrinsic rate of increase (r), and the finite rate of increase (λ), were also significantly higher ($P<0.05$). The intrinsic rate of increase (r) increased from 0.057 and 0.059 on diets A and B, to 0.079 on diet C. The estimated cost of successfully rearing one pupa on diet C was 0.10 CNY, representing a saving of 37.50% and 60.00% relative to diets A and B, respectively. **[Conclusion]** Based on rearing efficiency and cost, artificial diet C is superior to diets A and B for the multi-generational rearing of *E. pyriella* under laboratory conditions.

Key words *Euzophera pyriella*; artificial diets; life table of population; larval survival rate

---

*资助项目 Supported project：中国农业科学院科技创新工程

**第一作者 First author，E-mail：2484485896@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：luyanhui@caas.cn

收稿日期 Received：2025-08-31；接受日期 Accepted：2025-10-15

香梨优斑螟 *Euzophera pyriella* 属鳞翅目螟蛾科，幼虫为害梨、苹果、红枣、贴梗海棠和杨树等数十种林果（宋美杰等，1994；何晓灵等，2024）。除取食果皮、果肉及种子（陆承志，2004），香梨优斑螟幼虫还可蛀食寄主树干、枝条的韧皮部和木质部，伤口处易引发腐烂病，导致树势衰弱甚至树体死亡（Hou *et al.*，2015；Yang *et al.*，2017）。香梨优斑螟原先主要在新疆发生为害（杨集昆，1994），近年来发生区域逐年扩大，在甘肃多地相继被发现（何晓灵等，2024），对我国西北地区林果业的可持续发展构成了潜在威胁。

昆虫室内繁育体系的建立，是研究其生物学及综合治理技术的重要前提。目前，关于香梨优斑螟的室内人工饲养研究相对较少，已报道的人工饲料存在着低龄幼虫死亡率高、饲料配方成分繁杂和制备过程复杂等问题（阿依古丽·买买提，2019；侯国辉，2022）。本研究在分析主要鳞翅目害虫人工饲料成分的基础上，试制了一种香梨优斑螟人工饲料配方，比较研究其与已报道的两种人工饲料上香梨优斑螟种群饲养效果及成本，旨在筛选一种经济、高效且操作简单的人工饲料配方，为香梨优斑螟大规模室内继代饲养提供基础和依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2023 年 6 月，从甘肃省兰州市西固区范家坪苹果园（36.07°N，103.68°E）采获香梨优斑螟老熟幼虫，带回实验室放入塑料养虫盒（长×宽×高为 18 cm × 12 cm × 6 cm）并置于人工培养箱。成虫羽化后，将成虫置于四周铺有保鲜膜为产卵介质的塑料养虫盒内（长×宽×高为 38 cm×26 cm ×16 cm），用 10%的蜂蜜水浸湿棉球进行饲喂，每天补充 1 次新鲜蜂蜜水。待产卵后，将收集的卵于透明的塑料杯中（底径 d_1= 5 cm，口径 d_2= 7 cm，高 h = 7 cm），选择同一批初孵幼虫（孵化 4 h 内）作为供试虫源。昆虫饲养及后续试验均在温度（25±1）℃，相对湿度 60%±5%，光周期 14 L∶10 D 条件下进行。

1.2 供试材料与仪器设备

酵母粉（安琪酵母股份有限公司）、蔗糖（北京糖业烟酒集团有限公司）、琼脂粉和胆固醇（北京酷来搏有限公司）、干酪素和抗坏血酸（北京奥博星生物技术有限责任公司）、山梨酸钾和对羟基苯甲酸甲酯（天津市光复科技发展有限公司）、韦氏盐（北京邦德瑞生物技术有限公司）、复合维生素（江西南昌桑海制药有限责任公司）、苹果醋粉（常茂生物化学工程股份有限公司），冰乙酸、甲醛、乙醇、丙二醇、丙酸（成都市科隆化学品有限公司）。

人工气候培养箱（RXZ-500B，宁波江南仪器厂），高压灭菌锅（YXQ-50A，上海博讯事业公司），电子天平（ESJ182-4，沈阳龙腾电子有限公司）。

1.3 人工饲料组分及制备方法

选择了已报道的香梨优斑螟人工饲料 A（侯国辉，2022）、B（阿依古丽·买买提，2019）及其相应配置方法，同时与自研饲料 C 进行比较研究（表 1）。

自研饲料 C 是在苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 等食心虫幼虫人工饲料配方基础上进行优化而成的（Brinton *et al.*，1969），主要加入苹果醋粉、酵母粉、亚麻籽油并去除或降低甲醛、乙酸、乙醇等化学试剂的用量。具体配制方法如下：将称好的豆粉和小麦胚芽粉混匀后放入蒸锅中蒸 30 min 后待用；称取琼脂加蒸馏水煮沸至琼脂完全融化，转小火；加入山梨酸钾、对羟基苯甲酸甲酯，搅拌直至融化，加入蒸好混合物和待用的酵母粉并搅拌均匀，加入韦氏盐、蔗糖；冷却到 50 ℃时加入复合维生素、抗坏血酸、亚麻油，最后倒入苹果醋粉，迅速搅拌混匀后放入搪瓷盘，待冷却后放入 4 ℃冰箱保存备用。

1.4 试验方案

取当天孵化活跃健康的香梨优斑螟 1 龄幼虫（4 h 之内），用毛笔将初孵幼虫接入装有人工饲料（1 cm^3）的玻璃管中（直径 d = 1.5 cm，高

表 1　3 种香梨优斑螟幼虫人工饲料的组分配方

Table 1　Ingredient formulations of three artificial diets for *Euzophera pyriella* larvae

组分 Ingredients	含量 Amount		
	A	B	C
黄豆粉 Bean powder	50.0 g	200.0 g	140.0 g
小麦胚芽粉 Wheat germ	-	60.0 g	40.0 g
酵母粉 Yeast powder	25.0 g	-	20.0 g
蔗糖 Sucrose	15.0 g	29.3 g	20.0 g
麸皮 Bran	50.0 g	-	-
玉米粉 Cornmeal	35.0 g	-	-
豌豆粉 Peameal	25.0 g	-	-
琼脂 Agar	15.0 g	18.0 g	15.0 g
干酪素 Casein	30.0 g	-	-
抗坏血酸 Ascorbic acid	2.0 g	4.3 g	2.0 g
对羟基苯甲酸甲酯 Methyl *p*-hydroxybenzoate	-	18.0 g	15.0 g
山梨酸 Sorbic acid	2.0 g	0.9 g	2.0 g
韦氏盐 Webster's salt	-	1.8 g	1.0 g
复合维生素 Decavitamin	5.0 g	11.0 mL	25.0 mL
亚麻籽油 Linseed-oil	-	-	3.0 mL
苹果醋粉 Apple cider vinegar powder	-	-	25.0 g
苹果干粉 Apple powder	-	30.7 g	-
胆固醇 Cholesterol	0.1 g	-	-
95%乙醇 95% Ethanol	-	16.7 mL	-
丙二醇 Propanediol	-	10.0 mL	-
丙酸 Propanoic acid	-	2.8 mL	-
冰乙酸 Glacial acetic acid	3.0 mL	-	-
37%福尔马林 37% Formalin	1.0 mL	1.0 mL	-
52 ℃热水 52 ℃ Warm water	-	200.0 mL	-
蒸馏水 Distilled water	800.0 mL	433.0 mL	700.0 mL

"-"表示配方不含此成分。

The "-" symbol indicates that the formula does not contain this component.

h = 8 cm）内，每管 1 头，以棉塞封口，每 5 d 更换 1 次饲料，每 24 h 记录幼虫发育情况，直至幼虫死亡或化蛹。每 1 头幼虫重复 1 次，每个处理重复 60 次。幼虫化蛹第 3 天，取出在体式显微镜下分辨雌雄（张蒙等，2014），并用电子天平称重后，重新放入玻璃管中，放回人工气候箱。每 24 h 观察记录 1 次蛹的羽化情况，直至成虫羽化结束。计算幼虫存活率、化蛹率、蛹重、羽化率、性比等，同批初羽化的成虫按雌雄比 1∶1 配对后，放入 200 mL 塑料杯中，杯底加入含有 10%蜂蜜水的棉球，杯口用纱布封口并供成虫产卵，每 24 h 更换棉球及纱布，观察并记录产卵量，直至成虫死亡。

依据原材料采购成本，计算每种饲料单位重量的材料成本，再根据每头试虫消耗的饲料量及幼虫存活率，分别计算利用 3 种人工饲料从初孵幼虫起饲养获得 1 头香梨优斑螟成虫的成本。最后，综合饲养效果及饲料成本，筛选出最优的人工饲料配方。

1.5　数据分析

利用 Excel 2016 软件进行数据的录入与整理，生命表参数用 TWOSEX-MSChart 软件（Chi，2025）分析香梨优斑螟的存活率、繁殖力、寿命和种群参数。采用 Bootstrap 技术重复 100 000 次，计算种群净增殖率、内禀增长率、周限增长

率和世代周期等参数的平均值与标准误（Chi，1988；Chi *et al.*，2023），不同处理间的显著性差异水平通过 Paired bootstrap test（5%）进行检验。采用 R 软件（4.4.3）进行单因素方差分析，用 Tukey HSD 进行多重比较。种群参数公式计算如下（Chang *et al.*，2016）：净增殖率 $R_0 = \sum l_x m_x$（l_x 为特定年龄存活率，m_x 为特定年龄的繁殖力）；平均世代周期 $T = (\sum X_{lx} m_x)/R_0$；内禀增长率 $r = \ln R_0/T$；周限增长率 $\lambda = e^r$；式中：x 表示单位时间；l_x 表示在 x 期开始时的雌虫存活率；m_x 表示在 x 期内存活的平均每一个雌虫所产生的雌性后代数；e 为自然常数。利用 Sigma Plot15.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 香梨优斑螟幼虫生长发育与成虫寿命繁殖

如表 2 所示，取食饲料 C 的香梨优斑螟幼虫总历期显著短于饲料 A 和饲料 B（$F_{2,33} = 54.84$，$P < 0.01$），其中 1 龄幼虫发育历期无显著差异（$F_{2,151} = 2.23$，$P = 0.11$），2-5 龄幼虫的发育历期均显著短于饲料 A 和 B（2 龄：$F_{2,143} = 30.16$，$P < 0.01$；3 龄：$F_{2,141} = 18.87$，$P < 0.01$；4 龄：$F_{2,140} = 31.41$，$P < 0.01$；5 龄：$F_{2,133} = 9.37$，$P < 0.01$）。取食饲料 C 幼虫存活率达 91.67%，显著高于饲料 A 和饲料 B 的幼虫存活率（$F_{2,6} = 10.84$，$P = 0.01$）。

表 2 不同人工饲料上香梨优斑螟幼虫的存活与生长发育

Table 2 The survival and development of *Euzophera pyriella* fed on different artificial diets

参数 Parameters	饲料 A Artificial diet A	饲料 B Artificial diet B	饲料 C Artificial diet C
1 龄幼虫历期（d）Duration of 1st instar larvae (d)	4.92 ± 0.10 a	5.53 ± 0.35 a	5.29 ± 0.15 a
2 龄幼虫历期（d）Duration of 2nd instar larvae (d)	5.31 ± 0.30 a	5.55 ± 0.23 a	3.47 ± 0.06 b
3 龄幼虫历期（d）Duration of 3rd instar larvae (d)	5.68 ± 0.35 a	4.84 ± 0.27 b	3.71 ± 0.08 c
4 龄幼虫历期（d）Duration of 4th instar larvae (d)	6.98 ± 0.49 a	6.76 ± 0.49 a	3.73 ± 0.11 b
5 龄幼虫历期（d）Duration of 5th instar larvae (d)	15.13 ± 1.04 a	13.78 ± 1.04 a	10.18 ± 0.69 b
幼虫总历期（d）Larval development duration (d)	38.02 ± 1.05 a	36.72 ± 0.97 a	26.35 ± 0.74 b
幼虫存活率（%）Larval survival rate (%)	75.00 ± 8.66 b	60.00 ± 8.67 b	91.67 ± 1.67 a

表中数值为平均值±标准误，同行数据后标有不同小写字母表示同一世代下不同配方饲料之间差异显著（$P < 0.05$，Tukey's HSD）。表 3 同。

Data are presented as mean ± SE, and followed by the different letters within a row indicate significant difference between different feeds in the same generation ($P < 0.05$, Tukey's HSD). The same for Table 3.

表 3 所示，取食 3 种饲料香梨优斑螟的化蛹率、蛹历期、羽化率、成虫寿命、单雌产卵量均无显著差异（化蛹率：$F_{2,8} = 0.56$，$P = 0.59$；蛹历期：$F_{2,129} = 0.54$，$P = 0.58$；成虫寿命：$F_{2,129} = 1.77$，$P = 0.17$；羽化率：$F_{2,8} = 0.05$，$P = 0.95$；单雌产卵量：$F_{2,57} = 1.57$，$P = 0.87$），但取食饲料 C 的蛹重[（27.75 ± 3.65）mg]、卵孵化率（90.38± 1.76%）显著高于其他两种饲料（蛹重：$F_{2,132} = 31.73$，$P < 0.01$；卵孵化率：$F_{2,25} = 10.81$，$P < 0.01$）。

2.2 香梨优斑螟种群生命表参数

表 4 所示，取食饲料 A 和 B 的香梨优斑螟净增殖率（R_0）[（18.08 ± 5.57）和（20.28 ± 5.80）]、内禀增长率（r）[（0.06 ± 0.01）和（0.06 ± 0.01）]、周限增长率（λ）[（1.06 ± 0.01）和（1.06 ± 0.01）]无明显差异（$P > 0.05$），但与取食饲料 C 的相比 [（34.66 ± 7.38）、（0.08 ± 0.01）、（1.08±0.01）]，均显著降低（$P < 0.05$）。香梨优斑螟种群在取食饲料 C 上的平均世代周期（T）（44.67 ± 1.30）显著短于取食饲料 A 和 B 的种群[（51.10 ± 2.21）和（50.85 ± 1.28）]（$P < 0.05$）。

取食 3 种人工饲料香梨优斑螟的特定年龄-龄期存活率（s_{xj}）曲线，如图 1(A-C)所示。种群内个体发育速率存在差异，不同龄期的 s_{xj} 曲线呈现明显的重叠现象。取食饲料 A、B 和 C 的幼虫存活率分别为 0.75、0.60 和 0.92，取食饲料 C 的幼虫在第 2-17 天时存活概率为 0.98，在 18 d 时存活率开始下降，而取食饲料 A 和饲料 B 的

表 3　不同人工饲料上香梨优斑螟蛹存活发育与成虫寿命繁殖

Table 3　Pupal survival and development, adult longevity and fecundity of *Euzophera pyriella* on different artificial diets

参数 Parameters	饲料 A Artificial diet A	饲料 B Artificial diet B	饲料 C Artificial diet C
化蛹率（%）Pupation rate (%)	97.44 ± 0.02 a	96.08 ± 0.03 a	93.25 ± 0.01 a
蛹历期（d）Pupal duration (d)	9.70 ± 0.21 a	9.97 ± 0.19 a	9.85 ± 0.12 a
蛹重（mg）Pupal weight (mg)	18.17 ± 1.70 b	17.92 ± 0.92 b	27.75 ± 3.65 a
羽化率（%）Eclosion rate (%)	95.00 ± 0.02 a	95.56 ± 0.04 a	96.39 ± 0.02 a
性比（♀：♂）Sex ratio (♀：♂)	1：1.39	1：0.70	1：0.69
成虫寿命（d）Adult longevity (d)	17.91 ± 0.66 a	16.15 ± 0.65 a	17.94 ± 0.81 a
单雌产卵量（粒）Fecundity per female (grains)	60.28 ± 14.57 a	60.85 ± 13.57 a	64.88 ± 11.48 a
孵化率（%）Egg hatch rate (%)	80.50 ± 2.28 b	76.84 ± 2.45 b	90.38 ± 1.76 a

表 4　不同人工饲料上香梨优斑螟种群生命表参数

Table 4　Population life table parameters of *Euzophera pyriella* on different artificial diets

人工饲料 Artificial diets	净增殖率 R_0 Net reproductive rate	内禀增长率 r Innate capacity for increase	周限增长率 λ Finite rate for increase	世代周期 T Generation length
A	18.08 ± 5.57 b	0.057 ± 0.007 b	1.058 ± 0.007 b	51.10 ± 2.21a
B	20.28 ± 5.80 b	0.059 ± 0.006 b	1.061 ± 0.006 b	50.85 ± 1.28 a
C	34.66 ± 7.38 a	0.079 ± 0.005 a	1.083 ± 0.005 a	44.67 ± 1.36 b

表中同列数据后标有不同小写字母表示同一世代下不同配方饲料之间差异显著（$P < 0.05$，配对自我重复取样检验）。Data followed by the different letters within a column indicate significant differences among difference feeds in the same generation ($P < 0.05$, paired bootstrap test).

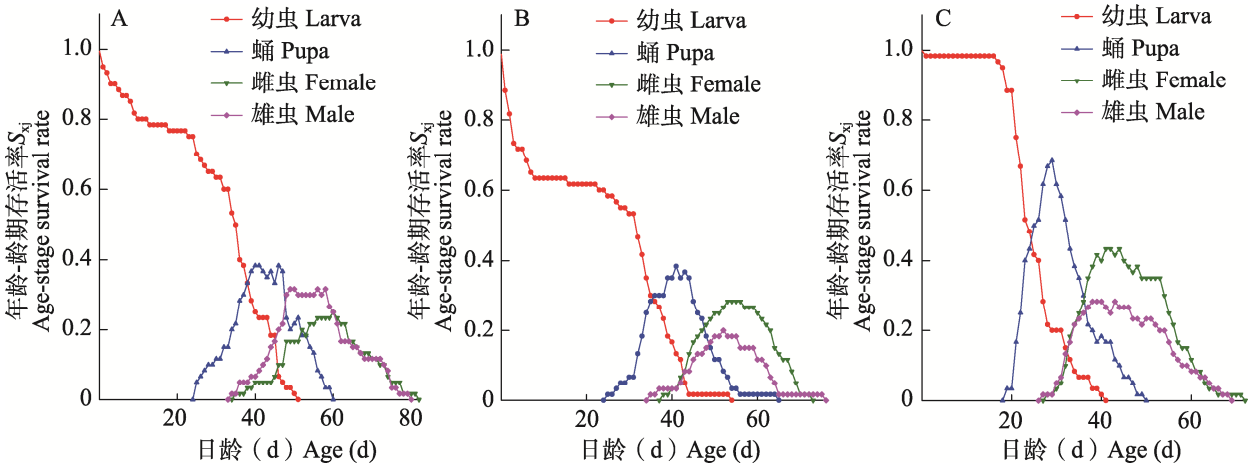

图 1　不同人工饲料上香梨优斑螟特定年龄-龄期存活率（S_{xj}）

Fig. 1　Age-stage special survival rates (S_{xj}) of *Euzophera pyriella* fed on different artificial diets

幼虫存活率从第 1 天开始下降。取食饲料 A 的蛹期存活率在第 40 天最大（0.38），取食饲料 A 的蛹期存活率在第 41 天最大（0.38），而取食饲料 C 的蛹期存活率在第 29 天最大（0.68）。取食饲料 B 和饲料 C 的雌成虫存活率高于雄成虫，而取食饲料 A 的雌成虫存活率低于雄成虫。可见，取食饲料 C 的各龄期的存活 s_{xj} 曲线高于饲料 A 和饲料 B 的存活 s_{xj} 曲线。

此外，香梨优斑螟取食不同饲料的特定年龄存活率（l_x）也存在显著差异（图 2：A-C）。随着时间的增加，种群 l_x 逐渐降低，取食饲料 A 的种群 l_x 在第 60 天存活率低于 0.5，而取食饲料

C 的种群 l_x 在第 54 天就已低于 0.5。特定年龄繁殖力（m_x）曲线显示，取食饲料 A、B 和 C 香梨优斑螟产卵量分别在 64、50 和 49 d 时达到峰值，分别为 2.52、6.18 和 3.57。取食饲料 A、B 和 C 的特定年龄净增殖率曲线（l_xm_x）分别在 52、49 和 42 d 时达到峰值，分别为 1.43、3.50 和 2.57。

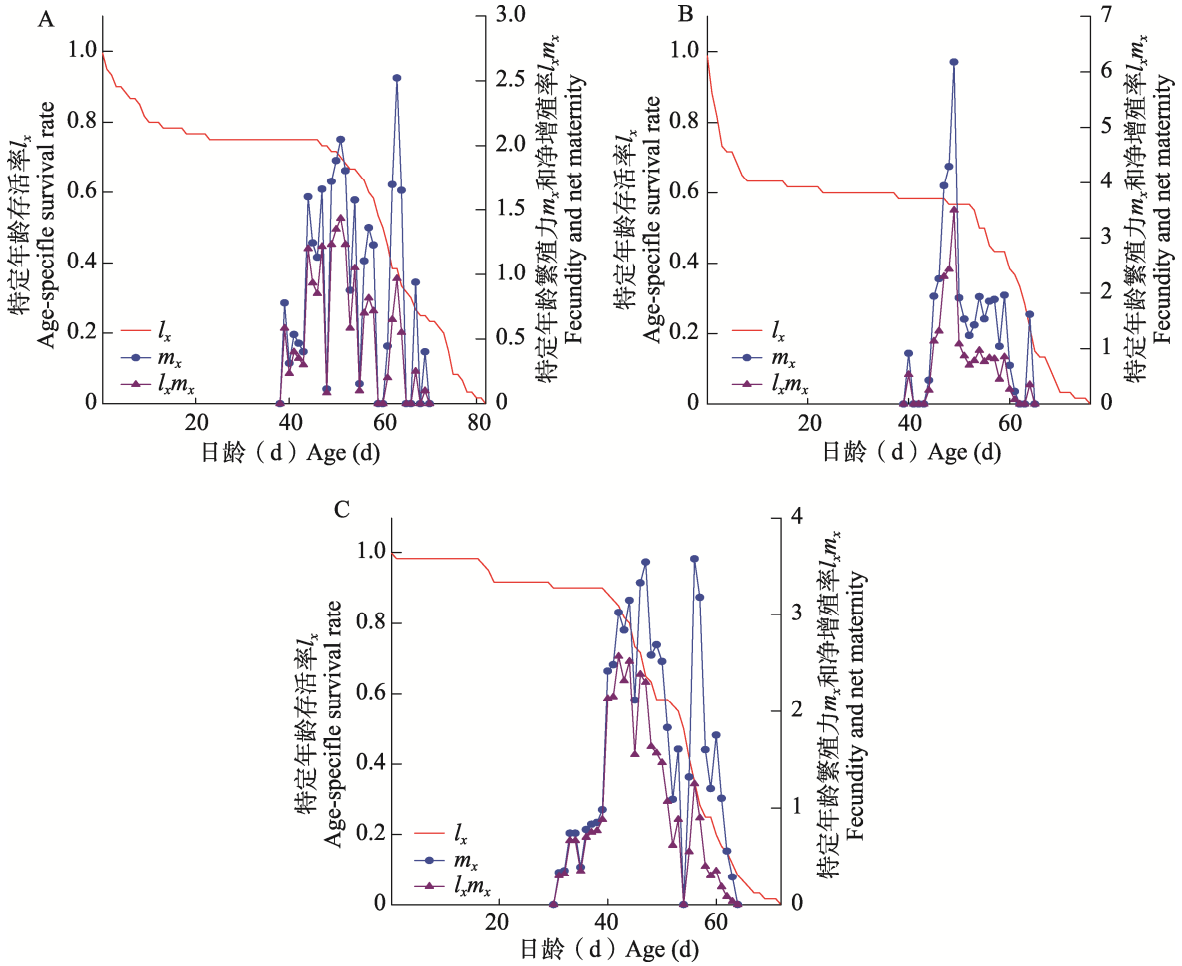

图 2　不同人工饲料上香梨优斑螟特定年龄存活率（l_x）、特定年龄繁殖力（m_x）和特定年龄净增殖率（l_xm_x）

Fig. 2　Age-specific survival rates (l_x), fecundity (m_x), and net maternity (l_xm_x) of *Euzophera pyriella* on different artificial diets

2.3　不同人工饲料的成本

根据各饲料配方原材料的用量和价格进行测算，饲料 B 的成本最高（36.04 元/kg），饲料 A 的成本居中（28.13 元/kg），饲料 C 成本最低（21.84 元/kg）。从卵孵化到成功羽化，饲喂香梨优斑螟每头幼虫约需 4 g 人工饲料，结合不同人工饲料的幼虫存活率数据综合分析，用饲料 C 饲养获得 1 头香梨优斑螟成虫的成本为 0.10 元，比饲料 A 和 B 分别降低了 37.5%和 60.0%。

3　结论与讨论

在前人研究成果基础上，本文成功自研了一种香梨优斑螟幼虫人工饲料配方。与已有的两种人工饲料相比，自研饲料上香梨优斑螟幼虫存活率、蛹重和发育速率等指标明显提升，种群增长较快，而且其原材料易得，操作简便，使用成本低，解决了已有人工饲料幼虫死亡率高、配置流程繁琐及使用成本偏高等问题和不足，适合开展

室内大规模饲养，为香梨优斑螟生物生态学及防控研究奠定了重要基础。

幼虫存活率、发育速率和蛹重等参数是反映人工饲料质量的重要指标。本研究中取食人工饲料 C 的香梨优斑螟幼虫存活率可达 91.67%，分别比人工饲料 A 和 B 提高了 16.67%和 31.67%；幼虫发育历期仅 26.35 d，分别比人工饲料 A 和 B 缩短了 10 和 12 d；此外，取食人工饲料 C 香梨优斑螟的蛹重显著高于人工饲料 A 和 B，增加 1.5 倍以上。种群参数分析显示，取食人工饲料 C 的香梨优斑螟种群净增殖率、内禀增长率、周限增长率均显著高于人工饲料 A 和 B。此外，本研究中自研人工饲料 C 的单头幼虫饲养成本比人工饲料 A 和 B 分别降低了约 37.5%和 60.0%。本实验采用单头幼虫饲养方式，若后续开展大规模群体饲养，单位成本还可进一步降低。本实验室已使用人工饲料 C 在室内连续饲养香梨优斑螟近 15 代，种群生命指标稳定，未出现种群退化现象。

在室内人工饲养条件下，昆虫的生长发育离不开脂类和固醇类等营养成分（曾凡荣，2018），人工饲料 C 是基于苹果蠹蛾人工饲料适度改良的配方（Brinton *et al.*，1969；Dyck，2010）。配方中添加了亚麻籽油，该油脂富含植物甾醇，可为昆虫生长发育提供所需的固醇类营养物质（赖玉萍等，2022）；原配方基础上提高了胚芽粉、韦氏盐和酸味剂的比例，降低了山梨酸和抗坏血酸的用量及黄豆粉的比例，减少了乙醇、甲醛等化学试剂的添加。胚芽粉可以为供试昆虫提供全部或大部分天然营养物质，Khan 等（2019）在苹果蠹蛾配方中添加小麦胚芽粉，可显著提高幼虫的存活率并增加幼虫体重；酸味剂是多种果树食心虫幼虫人工饲料的必需成分（Brinton *et al.*，1969；Wang，1986；王艳蓉等，2011），来源于苹果幼果的苹果醋粉富含维生素、有机酸、果胶等多种活性成分（EI Abdali *et al.*，2023），可提供幼虫生长发育必需的多种营养物质，它还是一类天然免疫抑制剂，可抑制细菌生长等（Yagnik *et al.*，2018）；韦氏盐有利于缩短幼虫历期，使幼虫发育更加整齐。昆虫人工饲料通常需要添加防腐杀菌物质来防止微生物污染，但考虑到很多防腐剂都带有毒性，防腐剂的比例在饲料配方中至关重要（曹利军等，2014；曾凡荣，2018）；考虑蛋白质浓度过高会抑制昆虫的生长、发育和繁殖，降低了豆粉的用量（曾凡荣，2018）。此外，优化人工饲料配制程序也会显著提高饲养效率（卢美光等，1999；莫美华等，2007；杜星星等，2023；Sun *et al.*，2025）。已报道的香梨优斑螟人工饲料的配方相对繁杂，配制过程复杂，饲养效率也较低（阿依古丽·买买提，2019；侯国辉，2022）。本研究自研饲料 C 在充分考虑香梨优斑螟生物学特性的基础上，对饲料配方进行了关键优化，大幅减少了化学制剂的使用，同时简化配置流程，为实现高效饲养奠定基础。

参考文献 (References)

Ayiguli·MaiMaiTi, 2019. Study on the life table and internal reproductive system of experimental population of *Euzophera pyriella*. Master dissertation. Aral: Tarim University. [阿依古丽·买买提, 2019. 香梨优斑螟实验种群生命表及内生殖系统研究. 硕士学位论文. 阿拉尔: 塔里木大学.]

Brinton FE, Proverbs MD, Carty BE, 1969. Artificial diet for mass production of the codling moth, *Carpocapsa Pomonella* (Lepidoptera: Olethreutidae). *The Canadian Entomologist*, 101(6): 577–584.

Chi H, 2025. TWOSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. https://www.faas.cn/cms/html/fjsnykxy/yyrj/index.html.

Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environment Entomology*, 17(1): 26–34.

Chi H, Kavousi A, Gharekhani G, Atlihan R, Salih Özgökçe M, Güncan A, Gökçe A, Smith CL, Benelli G, Guedes RNC, Amir-Maafi M, Shirazi J, Taghizadeh R, Maroufpoor M, Xu YY, Zheng FQ, Ye BH, Chen ZZ, You MS, Fu JW, Li JY, Shi MZ, Hu ZQ, Zheng CY, Luo L, Yuan ZL, Zang LS, Chen YM, Tuan SJ, Lin YY, Wang HH, Gotoh T, Shaef Ullah M, Botto-Mahan C, De Bona S, Bussaman P, Gabre RM, Saska P, Schneider MI, Ullah F, Desneux N, 2023. Advances in theory, data analysis, and application of the age-stage, two-sex life table for demographic research, biological control, and pest management. *Entomology Generalis*, 43(4): 705–732.

Chang C, Huang CY, Dai SM, Atlihan R, Chi H, 2016. Genetically engineered ricin suppresses *Bactrocera dorsalis* (Diptera:

Tephritidae) based on demographic analysis of group-reared life table. *Journal of Economic Entomology*, 109(3): 987–992.

Cao LJ, Yang F, Tang SY, Chen M, 2014. An artificial diet formula suitable for three species of Lepidoptera insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1376–1386. [曹利军, 杨帆, 唐思莹, 陈敏, 2014. 适合三种鳞翅目昆虫的一种人工饲料配方. 应用昆虫学报, 51(5): 1376–1386.]

Dyck VA, 2010. Rearing Codling Moth for the Sterile Insect Technique. Rome: FAO. 1–197.

Du XX, Xiao HY, Cao SK, Yang CJ, Chen G, Yu H, Zeng AP, 2023. Optimization of an artificial diet for *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(5): 1611–1617. [杜星星, 肖华燕, 曹生凯, 杨长锦, 陈功, 于欢, 曾爱平, 2023. 甜菜夜蛾人工饲料配方优化. 应用昆虫学报, 60(5): 1611–1617.]

El Abdali Y, Saghrouchni H, Kara M, Mssillou I, Allali A, Jardan YAB, Kafkas NE, El-Assri EM, Nafidi HA, Bourhia M, Almaary KS, Eloutassi N, Bouia A, 2023. Exploring the bioactive compounds in some apple vinegar samples and their biological activities. *Plants*, 12(22): 3850.

He XL, Zhang DW, Fu XW, Lu YH, 2024. Occurrence and damage characteristics of *Euzophera pyriella* in Gansu Province. *China Plant Protection*, 44(4): 32–36, 100. [何晓灵, 张大为, 付晓伟, 陆宴辉, 2024. 香梨优斑螟在甘肃的发生规律与为害特性. 中国植保导刊, 44(4): 32–36, 100.]

Hou SX, Wu F, Ma SC, Ma R, Zhu YF, Wen JB, 2015. Valsa canker fungus plays an important role in *Euzophera pyriella* (Lepidoptera: Pyralidae) growth and development. *Oriental Insects*, 49(1/2): 25–35.

Hou GH, 2022. Effects of temperature and photoperiod on the reproductive biology characteristics of *Euzophera pyriella* Yang. Master dissertation. Aral: Tarim University. [侯国辉, 2022. 温度和光周期对香梨优斑螟繁殖生物学特性的影响. 硕士学位论文. 阿拉尔: 塔里木大学.]

Khan A, Honey SF, Babar B, Jamil N, Mazhar MS, 2019. Responses of *Cydia pomonella* (L.) reared on different artificial diets under laboratory condition. *Sarhad Journal of Agriculture*, 35(2): 386–391.

Lai YP, Jiang FQ, Huang SY, Liang JH, Du B, Li P, 2022. Research progress on nutritional components, functional activities and applications of linseed oil. *China Oils and Fats*, 47(8): 109–115. [赖玉萍, 姜福全, 黄思苑, 梁结桦, 杜冰, 黎攀, 2022. 亚麻籽油的营养成分、功能活性及应用研究进展. 中国油脂, 47(8): 109–115.]

Lu CZ, 2004. Occurrence and integrated control of *Euzophera pyriella*. *China Fruits*, 2004(3): 38–39. [陆承志, 2004. 香梨优斑螟发生规律与综合防治. 中国果树, 2004(3): 38–39.]

Lu MG, Fan XL, Wei C, 1999. Improvement and application of artificial diet for *Helicoverpa armigera*. *Plant Protection*, 25(4): 53–54. [卢美光, 范贤林, 魏岑, 1999. 棉铃虫人工饲料的改进与应用. 植物保护, 25(4): 53–54.]

Mo MH, Pang H, Pang XF, 2007. Optimization of a semi-synthetic artificial diet of diamondback moth. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (*Natural Science Edition*), 46(6): 63–68. [莫美华, 庞虹, 庞雄飞, 2007. 小菜蛾半合成人工饲料配方的优化. 中山大学学报(自然科学版), 46(6): 63–68.]

Song MJ, Zhou NL, Zai YD, Zhang X, Xing HT, Li SF, Xiao F, 1994. A preliminary study on *Euzophera pyriella*. *Plant Protection*, 20(3): 13–15. [宋美杰, 周娜丽, 再衣东, 张新, 刑虎田, 栗素芬, 肖飞, 1994. 香梨优斑螟的初步研究. 植物保护, 20(3): 13–15.]

Sun XT, Ge SS, Chu B, He W, Yang XM, Wu KM, 2025. Development and reproduction of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) on the 3 artificial diets in the laboratory. *Journal of Economic Entomology*, 118(1): 229–241.

Wang YR, Huang M, Liu XW, Wu JX, Zhao D, 2011. Artificial diet for larvae of the oriental fruit moth *Grapholita molesta*(Busck) (Lepidoptera：Tortricidae). *Journal of Northwest A&F University* (*Natural Science Edition*), 39(5): 161–166. [王艳蓉, 黄敏, 刘喜旺, 仵均祥, 赵栋, 2011. 梨小食心虫人工饲料的研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 39(5): 161–166.]

Wang YY, 1986. Studies on the synthetic diet and rearing technique of *Carposina niponensis* Walsingham. *Acta Phytophylactica Sinica*, 13(2): 85–89.

Yang JK,1994. Description of a new pear pest from Kurla (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Huazhong Agricultural University*, 13(6): 560–562. [杨集昆, 1994. 库尔勒香梨优斑螟新种记述（鳞翅目：螟蛾科）. 华中农业大学学报, 13(6): 560–562.]

Yang ML, Feng SQ, Cao Y, Han X, Xiong RC, Li ZH, 2017. The complete mitochondrial genome of the pear pyralid moth, *Euzophera pyriella* Yang. *Mitochondrial DNA Part B*, 2(1): 275–276.

Yagnik D, Serafin V, Shah AJ, 2018. Antimicrobial activity of apple cider vinegar against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*; downregulating cytokine and microbial protein expression. *Scientific Reports*, 8(1): 1732.

Zhang M, Ma T, Zhu XJ, Yang XC, Li YZ, Wen XJ, 2014. Sex identification of pupae and adults of *Euzophera pyriella* Yang. *Plant Protection*, 40(1): 119-121. [张蒙, 马涛, 朱雪姣, 杨兴翠, 李奕震, 温秀军, 2014. 香梨优斑螟蛹和成虫的性别鉴定. 植物保护, 40(1): 119–121.]

Zeng FR, 2018. Research of insect artificial diet. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(2): 184–197. [曾凡荣, 2018. 昆虫人工饲料研究. 中国生物防治学报, 34(2): 184–197.]