

橘小实蝇、瓜实蝇和南亚果实蝇人工饲料的优化*

林明光^{1,2} 汪兴鉴^{2,3} 张艳^{2,4} 孙蕊芬² 曾玲^{1**}

(1. 华南农业大学昆虫生态研究室 广州 510642; 2. 海南出入境检验检疫局 海口 570311;
3. 中国科学院动物研究所 北京 100101; 4. 海南大学环境与植物保护学院 海口 570228)

摘要 在温度 25 ~ 28℃、相对湿度 70% ~ 75% 和光照周期 L:D = 14:10 条件下进行了人工大量饲养橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 和瓜实蝇 *B. cucurbitae* (Coquillett) 成虫人工饲料配方的筛选试验。结果显示, 1:2 重量比例混合的蔗糖和啤酒酵母是饲养这 2 种果实蝇的最佳成虫人工饲料, 用其饲养的单雌产卵量、产卵期和孵化率分别为 424.16 ~ 445.75 粒, 30.90 ~ 31.87 d, 74.60% ~ 75.40%。同时, 对 18 种由不同配方配制成的幼虫人工饲料饲养橘小实蝇、瓜实蝇和南亚果实蝇 *B. tau* (Walker) 的效果进行了比较。结果表明, 玉米和麦麸作为饲料的介质优于麦片和麦麸。橘小实蝇幼虫人工饲料的优化配方为: 玉米 + 麦麸 (125 g + 25 g), 蔗糖 25 g, 啤酒酵母 25 g, 对羟基苯甲酸甲酯 0.9 g, 1 mol/L 盐酸 4 mL, 纸巾 4 g, 自来水 300 mL; 用其幼虫人工饲料饲养该虫的生物学参数包括子代孵化率、化蛹率、羽化率和平均蛹重分别为 81.17% ± 0.05%, 96.41% ± 0.02%, 94.85% ± 0.01% 与 (19.40 ± 0.08) mg。而瓜实蝇和南亚果实蝇幼虫人工饲料的优化配方为: 玉米 + 麦麸 (100 g + 50 g), 蔗糖 30 g, 啤酒酵母 25 g, 以及一定量的其他组分 (同上); 用其饲料饲养这 2 种果实蝇的相关参数: 子代孵化率、化蛹率、羽化率和平均蛹重分别为 78.50% ± 0.04% 与 76.96% ± 0.12%, 95.73% ± 0.03% 与 94.69% ± 0.02%, 94.57% ± 0.02% 与 95.82% ± 0.03%, (18.62 ± 0.23) mg 与 (22.83 ± 1.38) mg。试验证实, 优化后的成、幼虫人工饲料具有饲养效果好、方法简便, 配方材料来源广泛和价格低廉等优点, 可用于室内人工大量饲养上述 3 种果实蝇属害虫。

关键词 橘小实蝇, 瓜实蝇, 南亚果实蝇, 大量饲养, 人工饲料, 优化

Optimization of artificial diets for mass rearing of *Bactrocera dorsalis*,
Bactrocera cucurbitae and *Bactrocera tau*

LIN Ming-Guang^{1,2} WANG Xing-Jian^{2,3} ZHANG Yan^{2,4} SUN Rui-Fen² ZENG Ling^{1**}

(1. Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2. Hainan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Haikou 570311, China;
3. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
4. College of Environment and Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract Artificial diets for adult *Bactrocera dorsalis* (Hendel) and *B. cucurbitae* (Coquillett) were evaluated in the laboratory at 25–28℃, 70%–75% RH and a L:D ratio of 14:10. A mixture of 1 part sucrose to 2 parts beer yeast by weight was the optimum artificial diet for adults of these two species. The egg quantity per female, egg-laying stage and hatching rate were 424.16–445.75 individuals, 30.90–31.87 days and 74.60%–75.40%, respectively. The effects of rearing larvae of *B. dorsalis*, *B. cucurbitae* and *B. tau* (Walker) on 18 different artificial diet formulae were compared. Corn and wheat bran mixtures were found to be better than oatmeal and wheat bran. The optimal formula for an artificial diet for rearing *B. dorsalis* larvae was 125 g corn, 25 g wheat bran, 25 g sucrose, 25 g beer yeast, 0.9 g methyl p-hydroxybenzoate, 4 mL 1 mol/L hydrochloric acid, 4 g paper towel and 300 mL tap water. Biological parameters measured in individuals of this species reared on the larval diet were hatching rate of the next generation, pupation rate, emergence rate and average pupa weight. These were 81.17% ± 0.05%, 96.41% ± 0.02%, 94.85% ± 0.01% and 19.40 ± 0.08 mg, respectively. By comparison, the optimal artificial diet formula for rearing larvae of *B. cucurbitae* and

* 资助项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (200903047); 海南省重点科技计划项目 (080152)。

** 通讯作者: E-mail: zengling@scau.edu.cn

收稿日期: 2012-07-16, 接受日期: 2012-12-05

B. tau was 100 g corn, 50 g wheat bran, 30 g sucrose, 25 g beer yeast, with the same amounts of the other ingredients as for *B. dorsalis* larvae. Biological parameters measured in individuals of the two species reared on the larval diet were hatching rate of the next generation, pupation rate, emergence rate and average pupa weight. These were $78.50\% \pm 0.04\%$ and $76.96\% \pm 0.12\%$, $95.73\% \pm 0.03\%$ and $94.69\% \pm 0.02\%$, $94.57\% \pm 0.02\%$ and $95.82\% \pm 0.03\%$, 18.62 ± 0.23 mg and 22.83 ± 1.38 mg, respectively. It was found that all three pest species raised on their respective optimal larval artificial diets could be reared successfully for successive generations. The diets are practical for maintaining populations of these three *Bactrocera* species because they are effective, simple to prepare and the ingredients required are widely available and inexpensive.

Key words *Bactrocera dorsalis*, *Bactrocera cucurbitae*, *Bactrocera tau*, mass rearing, artificial diet, optimization

近几十年来,国内外有关橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 和瓜实蝇 *B. cucurbitae* (Coquillett) 等重要检疫性害虫成、幼虫人工饲料的研究已有不少报道(王宗楷 1964; Mitchell *et al.* 1965; 梁忆冰, 1967; Tanaka *et al.*, 1969; Singh and Moore 1985; Vargas, 1988; 王延年, 1990; 高强, 2005; 袁盛勇等, 2006; 李丽丽, 2009)。实蝇人工饲养繁殖技术的长足进步,逐步实现常年持续不断地提供大量同一发育阶段(虫态或虫龄)的供试虫源,为深入探讨其生物学和生态学、综合防治及果蔬产品检疫除害处理等打下了坚实基础,有力地推动了相关学科领域的研究进展,促进了各国果蔬种植业及其农产品进出口国际贸易的发展。

然而,由于饲养目的和规模的不同,目前国内外所采用的实蝇人工饲料的配方繁简不一,效果也各异,理想与实用的人工饲料亟待进一步研究。为此,作者在前人工作的基础上,通过采用不同配方配制成的成虫人工饲料饲养橘小实蝇和瓜实蝇,以及幼虫人工饲料饲养橘小实蝇、瓜实蝇和南亚果实蝇 *B. tau* (Walker) 的效果比较,筛选适宜于这 3 种实蝇生长发育的廉价人工饲料优化配方,以便为实现其规模化人工饲养和繁殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实蝇人工饲养设备

1.1.1 饲养实验室 实蝇人工饲养的实验室应配有纱门纱窗以防实蝇逃逸。室内温度 $25 \sim 28^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $70\% \sim 75\%$, 光照周期 L:D = 14:10, 保持洁净与通风。

1.1.2 成虫饲养笼 分大、小型两种规格:小型饲养笼长 $\times$ 宽 $\times$ 高 = $58 \text{ cm} \times 42 \text{ cm} \times 33 \text{ cm}$, 笼的上下、前后镶有玻璃, 两侧为纱网; 前面中间留有 1 个直径约 15 cm 的圆形操作空, 孔口带有约 35 cm

长的纱布袖口。大型饲养笼长 $\times$ 宽 $\times$ 高 = $80 \text{ cm} \times 46 \text{ cm} \times 120 \text{ cm}$, 中间有 2 层玻璃隔板, 供放置人工饲料、水杯和集卵器。

1.1.3 集卵器 供成虫产卵及卵的收集。(1)集卵杯:适用于橘小实蝇等;由一次性塑料杯制成,杯内放入切成小块的鲜橙等水果,杯口用保鲜膜封闭,再用橡皮筋扎紧,用针在距杯底约 1.5 cm 以上的杯壁扎有多个直径约 1 mm 的微孔,孔间距约 1 cm。(2)集卵瓜皮:适用于瓜实蝇和南亚果实蝇等;将鲜黄瓜、苦瓜或丝瓜剖开切成长约 10 cm 小段,去除多数瓜肉后将其表面用保鲜膜封住,用针在瓜皮上扎多个微孔即可。

1.1.4 幼虫饲养盒 由长 $\times$ 宽 $\times$ 高 = $36 \text{ cm} \times 23 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 白色塑料盒制成,盒盖中央开一个大小约 $9 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ 长方形通气口并用细密纱网密封,供盛装人工饲料和幼虫饲养。

1.1.5 化蛹箱 由长 $\times$ 宽 $\times$ 高 = $48 \text{ cm} \times 33 \text{ cm} \times 28 \text{ cm}$ 白色塑料盒制成,盒盖中央开一个大小约 $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 长方形通气口并用细密纱网密封,箱底铺有一层深度约 3 ~ 5 cm 的洁净潮湿细沙,供老熟幼虫化蛹。

1.2 人工饲料配方试验材料

玉米(细碎粒状,使用前浸泡 1 min 后蒸熟)、麦片、米糠、麦麸和蔗糖(均为市售),啤酒酵母粉(上海杰诺生物科技有限公司生产),对羟基苯甲酸甲酯(分析纯,汕头市西陇化工厂有限公司生产,防腐剂),盐酸(分析纯,广州市东红化工厂生产),纸巾(维达纸业有限公司生产)和自来水。

1.3 成虫人工饲料配方的筛选

1.3.1 供试虫源 从海南省各县市果园和瓜菜园中采集被害果,带回室内培养获取实蝇的幼虫和蛹,待大量羽化后按种类分笼饲养。以室内饲养的第 1 代橘小实蝇和瓜实蝇成虫作为供试虫源。

1.3.2 供试成虫人工饲料配方 以蔗糖与啤酒酵母作供试成虫人工饲料配方,按不同重量比例配制成下列 3 种不同人工饲料:饲料 1:蔗糖:啤酒酵母 = 1:1;饲料 2:蔗糖:啤酒酵母 = 1:2;饲料 3:蔗糖:啤酒酵母 = 1:3。将各人工饲料混匀分别放入直径为 10 cm 的培养皿中,备用。

1.3.3 试验方法与生物学参数统计

1.3.3.1 试验方法 取饲养笼 6 个分成 2 组,每组 3 个笼分别放入橘小实蝇和瓜实蝇成虫各 25 对(雄雌性比 1:1),将盛有不同配方人工饲料的培养皿和供水杯(杯内盛水,将折叠成长方形的纸巾一端沿塑料杯盖中央切口浸入水中,另一端平铺于杯盖上)分放于笼中供成虫补充营养和饮水。在饲养室温湿度及光照条件下,交配后的成虫饲养至 12 d 后开始进入产卵期。

1.3.3.2 产卵期、总产卵量和单雌产卵量 自进入产卵期开始,每隔 3 d 将备好的集卵杯和集卵瓜皮分别放入橘小实蝇和瓜实蝇的饲养笼内供其产卵,产卵时间 9:00—17:00,取出集卵杯和集卵瓜皮用水冲将卵洗至 100 mL 烧杯内,倾去上层水后用细密丝织纱网过滤收集卵,分别记录 2 种实蝇的卵数,直至产卵期结束为止。连续饲养 3 代,分

别记录和统计 2 种实蝇雌成虫的产卵期和总产卵量,计算其单雌产卵量。

产卵期 = 雌成虫平均产卵持续天数,

单雌产卵量(粒) = 总产卵量(粒) / 供试雌虫数。

1.3.3.3 孵化率 将每隔 3 d 收集的 2 种实蝇的卵分别接入盛有幼虫人工饲料(以麦麸为介质,配方见后)的饲养盒内,在饲养室条件下饲养 6 d 后检查和记录孵化的幼虫数,直至产卵期结束。连续饲养 3 代,统计和计算 2 种实蝇卵的孵化率。

孵化率(%) = 孵化幼虫数 / 接入卵量 × 100。

1.4 幼虫人工饲料配方的筛选

1.4.1 供试虫源 以海南出入境检验检疫局热带植物隔离检疫中心实验室饲养的橘小实蝇第 7 代种群、瓜实蝇和南亚果实蝇第 6 代种群为供试虫源。

1.4.2 供试幼虫人工饲料配方

1.4.2.1 不同单一介质幼虫人工饲料配方 以麦片、玉米、米糠作供试介质,麦麸为对照,分别与一定量其他组分配制成 4 种不同幼虫人工饲料,其编号及配方如表 1 所示。

表 1 含不同单一介质的幼虫人工饲料配方

Table 1 Formulae of larva artificial diets containing different unitary medium

人工饲料 Artificial diets	介质(g) Medium (g)	蔗糖(g) Sucrose (g)	啤酒酵母(g) Beer yeast (g)	对羟基苯甲 酸甲酯(g) Methyl p-hydroxybenzoate (g)	盐酸 (1 mol/L/mL) Hydrochloric acid (1 mol/L/mL)	纸巾(g) Paper towel (g)
1	玉米 150 Corn 150	30	20	0.9	4	20
2	麦片 150 Oatmeal 150	30	20	0.9	4	20
3	米糠 150 Rice bran 150	30	20	0.9	4	20
CK	麦麸 150 Wheat bran 150	30	20	0.9	4	20

1.4.2.2 不同混合介质幼虫人工饲料的配方 选用玉米和麦麸、麦片和麦麸作供试混合介质,分别与不同量的蔗糖和啤酒酵母正交组合,再与一

定量的其他组分(均同单一介质)配制成 18 种不同的幼虫人工饲料。其主要配方及用量分别如表 2、表 3 所示。

表 2 玉米和麦麸作介质的幼虫人饲料配方

Table 2 Formulae of larva artificial diet containing media of corn and wheat bran

人工饲料 Artificial diets	玉米 (g) Corn (g)	麦麸 (g) Wheat bran (g)	蔗糖 (g) Sucrose (g)	啤酒酵 母(g) Beer yeast(g)	对羟基苯甲 酸甲酯(g) Methyl p-hydroxybenzoate (g)	盐酸 (1 mol/L/mL) Hydrochloric acid (1 mol/L/mL)	纸巾 (g) Paper towel(g)	自来水 (mL) Tap water (mL)
A1B1C1	75	75	25	15	0.9	4	20	300
A1B2C2	75	75	30	20	0.9	4	20	300
A1B3C3	75	75	35	25	0.9	4	20	300
A2B1C2	100	50	25	20	0.9	4	20	300
A2B2C3	100	50	30	25	0.9	4	20	300
A2B3C1	100	50	35	15	0.9	4	20	300
A3B1C3	125	25	25	25	0.9	4	20	300
A3B2C1	125	25	30	15	0.9	4	20	300
A3B3C2	125	25	35	20	0.9	4	20	300

注:表中字母组合分别代表 9 种不同供试幼虫人工饲料。其中,A、B、C 分别代表饲料中主要配方混合介质玉米 + 麦麸、蔗糖和啤酒酵母;阿拉伯数字分别代表这些主要配方的不同用量。表 9,表 11,表 13 同。

Letters combination in the table represent nine different larva artificial diets for testing, respectively. Among which, A, B and C represent main formulae in the diets, mixed media of corn and wheat bran, sucrose and beer yeast respectively; arabic numbers represent different quantity of these main formulae for use. The same with Table 9, Table 11 and Table 13.

表 3 麦片和麦麸作介质的幼虫人工饲料配方

Table 3 Formulae of larva artificial diet containing media of oatmeal and wheat bran

人工饲料 Artificial diets	玉米 (g) Corn (g)	麦麸 (g) Wheat bran (g)	蔗糖 (g) Sucrose (g)	啤酒酵 母(g) Beer yeast(g)	对羟基苯甲 酸甲酯(g) Methyl p-hydroxybenzoate (g)	盐酸 (1 mol/L/mL) Hydrochloric acid (1 mol/L/mL)	纸巾 (g) Paper towel(g)	自来水 (mL) Tap water (mL)
D1E1F1	75	75	25	15	0.9	4	20	300
D1E2F2	75	75	30	20	0.9	4	20	300
D1E3F3	75	75	35	25	0.9	4	20	300
D2E1F2	100	50	25	20	0.9	4	20	300
D2E2F3	100	50	30	25	0.9	4	20	300
D2E3F1	100	50	35	15	0.9	4	20	300
D3E1F3	125	25	25	25	0.9	4	20	300
D3E2F1	125	25	30	15	0.9	4	20	300
D3E3F2	125	25	35	20	0.9	4	20	300

注:表中字母组合分别代表 9 种不同供试幼虫人工饲料。其中,D、E、F 分别代表饲料中主要配方混合介质麦片 + 麦麸、蔗糖和啤酒酵母;阿拉伯数字分别代表这些主要配方的不同用量。表 10,表 12,表 14 同。

Letters combination in the table represent nine different larva artificial diets for testing, respectively. Among which, letters D, E and F represent main formulae in the diets, mixed media of oatmeal and wheat bran, sucrose and beer yeast respectively; arabic numbers represent different quantity of these main formulae for use. The same with Table 10, Table 12 and Table 14.

1.4.3 幼虫人工饲料的配制 单一与混合介质幼虫人工饲料的配制方法相同,依下列步骤进行:(1)准确称量人工饲料各配方成分;(2)将卫生纸放入搅拌器内打成碎屑;(2)把蔗糖、啤酒酵母和对羟基苯甲酸甲酯加水溶解后倒入搅拌器中搅拌成浆状,盛放于饲养盒中;(3)加入单一或混合介质混匀;(4)再加 1 mol/L 盐酸搅拌均匀,用酸性或碱性中和剂调至 pH 值 4~5,备用。

1.4.4 试验方法与生物学参数统计

1.4.4.1 试验方法 分别取饲养盒 12 个与 54 个按 3 种实蝇分为 3 组,前者每组 4 个盒分别盛装配制好的 4 种不同单一介质幼虫人工饲料,后者每组 18 个盒,每 9 个盛装 1 种混合介质正交试验配方人工饲料。每盒接入卵 200 粒于饲料表面铺好的纸巾上,盖上盒盖后再用遮光布覆盖,置于饲养室的条件下进行饲养。当卵孵化后幼虫即钻入饲料内取食,发育至成熟。试验重复 3 次。

1.4.4.2 化蛹率和平均蛹重 当多数幼虫发育至 3 龄时,将幼虫饲养盒置于直径为 150 cm 水盆内的支架上,打开盒盖后具有弹跳习性的老熟幼虫先后跳入盆内水中,每隔 1.5 h 收集 3 龄幼虫 1 次,各选其中 100 头放入化蛹箱内供其入底部略湿沙层中化蛹,经 3 d 化蛹结束后筛沙取蛹。分别记录和统计其蛹数和蛹总重量,计算其化蛹率和平均蛹重。

化蛹率(%) = 蛹数/ 供试 3 龄幼虫数 × 100,

平均蛹重(mg) = 蛹总重量(mg)/蛹数。

1.4.4.3 羽化率 将收集的 3 种实蝇蛹(计数)

放入底部铺有一层深度约 2 cm 洁净湿沙的塑料碗(直径 10 cm)内,分别置于不同饲养笼内,待成虫全部羽化后,检查和记录已羽化的蛹壳数(=羽化成虫数)和未羽化的蛹数,计算其羽化率。

羽化率(%) = 羽化成虫数/供试蛹数 × 100。

1.4.4.4 子代孵化率 羽化后的 3 种实蝇成虫经饲养进入产卵期后,各取卵 200 粒接入不同配方幼虫人工饲料内饲养,6 d 后检查记录孵化幼虫数,计算其子代卵孵化率。

子代孵化率(%) = 孵化幼虫数/供试卵数 × 100。

2 结果与分析

2.1 成虫人工饲料配方的筛选

用不同重量比例混合的蔗糖与啤酒酵母成虫人工饲料饲养橘小实蝇和瓜实蝇的试验结果(表 4,表 5)显示,以饲料 2(蔗糖:啤酒酵母 = 1:2)的效果最好,其成虫的产卵期、总产卵量、单雌产卵量和羽化率均与饲料 1(蔗糖:啤酒酵母 = 1:1)和饲料 3(蔗糖:啤酒酵母 = 1:3)差异显著,2 种实蝇的产卵期分别为(31.87 ± 0.38) d 与 (30.90 ± 0.47) d,各延长 5.5~9.5 d 与 5.7~7.9 d;单雌产卵量分别为(445.75 ± 2.75)粒与(424.16 ± 0.66)粒,各多产卵 171.85~206.60 粒与 207.91~218.30 粒;子代孵化率分别为 75.40% ± 0.99% 与 74.60% ± 1.21%,相应提高 6.47%~7.43% 与 6.98%~7.90%。其次是饲料 1,饲养成虫的效果比饲料 3 略好,但对瓜实蝇的饲养其效果与后者大致相当,差异不显著。

表 4 不同成虫人工饲料饲养橘小实蝇的效果
Table 4 Effect of rearing *Bactrocera dorsalis* on different adult artificial diets

人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters		
	产卵期(d)	单雌产卵量(粒)	孵化率(%)
	Egg-laying stage (d)	Egg quantity per female	Hatching rate (%)
1	26.36 ± 1.16 b	273.90 ± 0.44 b	68.93 ± 0.62 b
2	31.87 ± 0.38 a	445.75 ± 2.75 a	75.40 ± 0.99 a
3	22.33 ± 0.86 c	239.15 ± 0.50 c	67.97 ± 0.78 b

注:表中数据是平均数 ± 标准差,同列数据后标有不同字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异性显著(P < 0.05),下表同。
Data in the table are mean ± SE, and followed by different letters indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test. The same below.

表 5 不同成虫人工饲料饲养瓜实蝇的效果

Table 5 Effect of rearing *Bactrocera cucurbitae* on different adult artificial diets

人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters		
	产卵期 (d)	单雌产卵量 (粒)	孵化率 (%)
	Egg-laying stage (d)	Egg quantity per female	Hatching rate (%)
1	25.18 ± 0.53 b	216.25 ± 3.47 b	67.62 ± 0.60 b
2	30.90 ± 0.47 a	424.16 ± 0.66 a	74.60 ± 1.21 a
3	24.96 ± 0.80 b	205.86 ± 1.22 b	66.70 ± 0.73 b

不同配比蔗糖与啤酒酵母混合人工饲料饲养实蝇效果的差异,在一定程度上反映了成虫期补充营养和雌性体内受精卵的发育对糖类与蛋白质需求量的不同。

2.2 幼虫人工饲料配方的筛选

2.2.1 不同单一介质配制成的幼虫人工饲料

试验结果(表 6~表 8)显示,采用玉米或麦片作介质配制成的幼虫人工饲料饲养橘小实蝇、瓜实蝇和南亚果实蝇的效果明显优于麦麸(对照),

除羽化率外,其化蛹率、平均蛹重和子代孵化率均高于后者,且差异显著。其中,以玉米作介质为最佳,3 种实蝇的化蛹率介于 95%~97%,平均蛹重接近或等于 18 mg,羽化率和子代孵化率分别介于 90%~98%与 72%~77%。麦片作介质为其次,饲养橘小实蝇和瓜实蝇幼虫的效果除平均蛹重外,化蛹率、羽化率和子代孵化率均相对较低。米糠作介质效果最差,与麦麸相比,饲养幼虫的各项指标明显低于后者。

表 6 含不同单一介质的幼虫人工饲料饲养橘小实蝇的效果

Table 6 Effect of rearing *Bactrocera dorsalis* on larva artificial diets containing different unitary medium

人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters			
	子代孵化率 (%)	化蛹率 (%)	平均蛹重 (mg)	羽化率 (%)
	Hatching rate of next generation (%)	Pupating rate (%)	Average pupa weight (mg)	Emergence rate (%)
1	72.57 ± 0.65 a	96.42 ± 0.91 a	18.03 ± 0.47 a	90.84 ± 0.38 a
2	68.16 ± 0.60 b	95.47 ± 0.60 ab	17.68 ± 0.18 a	87.73 ± 0.79 b
3	65.45 ± 0.41 c	94.56 ± 0.62 bc	14.36 ± 0.26 c	86.74 ± 0.97 b
CK	66.81 ± 1.17b c	94.09 ± 0.66 c	15.04 ± 0.21 b	91.29 ± 0.81 a

表 7 含不同单一介质的幼虫人工饲料饲养瓜实蝇的效果

Table 7 Effect of rearing *Bactrocera cucurbitae* on larva artificial diets containing different unitary medium

人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters			
	子代孵化率 (%)	化蛹率 (%)	平均蛹重 (mg)	羽化率 (%)
	Hatching rate of next generation (%)	Pupating rate (%)	Average pupa weight (mg)	Emergence rate (%)
1	75.18 ± 0.45 a	96.77 ± 0.29 a	17.69 ± 0.38 a	90.82 ± 0.47 a
2	68.66 ± 0.64 b	94.55 ± 0.56 b	17.66 ± 0.39 a	88.70 ± 0.69 b
3	61.61 ± 0.57 d	93.49 ± 0.68 c	15.21 ± 0.24 b	85.59 ± 0.66 c
CK	66.76 ± 1.13 c	95.23 ± 0.38 b	15.30 ± 0.29 b	91.07 ± 0.64 a

表 8 含不同单一介质的幼虫人工饲料饲养南亚果实蝇的效果

Table 8 Effect of rearing *Bactrocera tau* on larva artificial diets containing different unitary medium

人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters			
	子代孵化率(%)	化蛹率(%)	平均蛹重(mg)	羽化率(%)
	Hatching rate of next generation (%)	Pupating rate (%)	Average pupa weight (mg)	Emergence rate (%)
1	77.47 ± 1.26 a	95.36 ± 0.65 a	17.93 ± 0.08 a	98.09 ± 0.55 a
2	75.14 ± 0.24 b	96.04 ± 0.13 a	18.04 ± 0.21 a	97.69 ± 0.81 a
3	60.19 ± 1.62 d	86.85 ± 0.93 c	16.96 ± 0.39 b	86.74 ± 0.97 b
CK	67.81 ± 0.24 c	94.09 ± 0.66 b	16.36 ± 0.40 c	98.03 ± 0.37 a

上述结果表明,幼虫饲养效果的优劣与饲料中介质所含营养成分的高低密切相关,麦麸的主要营养成分显著低于玉米和麦片,故子代孵化率较低、平均蛹重也较小。此外,饲料理化性状的适宜度也是影响幼虫发育的因素之一,以麦片作介质配制成的人工饲料黏度过大,因而饲养效果尚不理想;麦麸作介质也有其优点,富含幼虫发育所需的纤维素,而良好的吸水、保水特性有利于改善固态饲料的理化性状。

2.2.2 不同混合介质配制成的幼虫人工饲料

2.2.2.1 饲养橘小实蝇的效果 试验结果(表 9,表 10)显示,混合介质玉米 + 麦麸与麦片 + 麦麸相

比,饲养橘小实蝇的总体效果相对较好,除子代孵化率和化蛹率二者大致相同外,平均蛹重和羽化率均高于后者。

在试验的 9 种幼虫人工饲料中,以 A1B1C1、A2B2C3 和 A3B1C3 的饲养效果较好,其化蛹率、羽化率大致相同,分别介于 96.31% ~ 96.62% 与 94.85% ~ 95.57%。其中,A3B1C3 的子代孵化率最高(81.17% ± 0.05%),其次是 A1B1C1(79.83% ± 0.06%),与 A2B2C3 的最大差异为 7.17%;其平均蛹重(19.40 ± 0.08)mg 接近于 A2B2C3,而高于 A1B1C1;从几项指标的综合比较来看,橘小实蝇幼虫的人工饲料以 A3B1C3 最优。

表 9 玉米和麦麸作介质的幼虫人工饲料饲养橘小实蝇的效果

Table 9 Effect of rearing *Bactrocera dosalis* on larva artificial diets containing media of corn and wheat bran

人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters			
	子代孵化率(%)	化蛹率(%)	平均蛹重(mg)	羽化率(%)
	Hatching rate of next generation (%)	Pupating rate (%)	Average pupa weight (mg)	Emergence rate (%)
A1B1C1	79.83 ± 0.06 a	96.62 ± 0.02 a	18.94 ± 0.65 c	95.57 ± 0.04 a
A1B2C2	68.50 ± 0.17 ab	95.54 ± 0.02 a	18.75 ± 1.71 c	91.80 ± 0.01 c
A1B3C3	76.83 ± 0.13 ab	96.98 ± 0.02 a	18.72 ± 1.58 c	94.75 ± 0.01 ab
A2B1C2	76.17 ± 0.03 ab	94.69 ± 0.02 ab	18.85 ± 0.19 c	95.23 ± 0.02 a
A2B2C3	74.00 ± 0.12 ab	96.31 ± 0.02 a	19.64 ± 0.12 a	95.50 ± 0.02 a
A2B3C1	69.50 ± 0.10 ab	95.97 ± 0.02 a	19.10 ± 0.34 bc	94.26 ± 0.01 ab
A3B1C3	81.17 ± 0.05 a	96.41 ± 0.02 a	19.40 ± 0.08 ab	94.85 ± 0.01 a
A3B2C1	73.67 ± 0.03 ab	94.25 ± 0.02 ab	19.13 ± 0.48 bc	92.88 ± 0.01 bc
A3B3C2	79.50 ± 0.04 a	91.33 ± 0.02 b	18.97 ± 0.29 bc	90.79 ± 0.01 c

表 10 麦片和麦麸作介质的幼虫人工饲料饲养橘小实蝇的效果

Table 10 Effect of rearing <i>Bactrocera dorsalis</i> on larva artificial diets containing media of oatmeal and wheat bran				
人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters			
	子代孵化率(%)	化蛹率(%)	平均蛹重(mg)	羽化率(%)
	Hatching rate of next generation (%)	Pupating rate (%)	Average pupa weight (mg)	Emergence rate (%)
D1E1F1	80.83 ± 0.08 a	95.67 ± 0.03 ab	13.61 ± 1.87 c	86.45 ± 0.04 bc
D1E2F2	77.17 ± 0.07 ab	97.53 ± 0.02 a	14.34 ± 1.45 bc	84.76 ± 0.05 c
D1E3F3	70.00 ± 0.14 c	95.33 ± 0.03 ab	15.05 ± 0.90 ab	91.29 ± 0.06 a
D2E1F2	75.67 ± 0.08 abc	98.78 ± 0.01 a	15.50 ± 1.23 ab	89.80 ± 0.03 a
D2E2F3	75.50 ± 0.03 abc	96.42 ± 0.02 ab	14.36 ± 2.05 bc	88.45 ± 0.06 ab
D2E3F1	70.17 ± 0.20 c	94.20 ± 0.04 b	14.18 ± 1.58 bc	88.79 ± 0.04 ab
D3E1F3	74.33 ± 0.06 bc	96.86 ± 0.02 ab	15.38 ± 2.21 ab	85.89 ± 0.08 bc
D3E2F1	75.83 ± 0.06 abc	92.67 ± 0.03 b	16.19 ± 0.91 a	90.57 ± 0.06 a
D3E3F2	79.17 ± 0.08 ab	95.44 ± 0.03 ab	13.95 ± 1.88 c	83.57 ± 0.04 c

2.2.2.2 饲养瓜实蝇的效果 试验结果(表 11, 表 12)显示,9 种幼虫人工饲料中饲养瓜实蝇总体效果较好的分别为 A2B2C3 与 D1E2F2,二者的平均蛹重和羽化率大致相同,但前者的子代孵化率达 78.50% ± 0.04%,高于后者约 6.3%;而化蛹率为 95.73% ± 0.03%,低于后者约 1.6%;相比之下,幼虫人工饲料 A2B2C3 更适宜于瓜实蝇幼虫的饲养。

表 11 玉米和麦麸作介质的幼虫人工饲料饲养瓜实蝇的效果

Table 11 Effect of rearing <i>Bactrocera cucurbitae</i> on larva artificial diets containing media of corn and wheat bran				
人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters			
	子代孵化率(%)	化蛹率(%)	平均蛹重(mg)	羽化率(%)
	Hatching rate of next generation (%)	Pupating rate (%)	Average pupa weight (mg)	Emergence rate (%)
A1B1C1	75.50 ± 0.10 a	95.52 ± 0.02 a	19.52 ± 0.19 ab	91.57 ± 0.03 ab
A1B2C2	73.17 ± 0.07 ab	94.33 ± 0.03 ab	19.50 ± 0.58 ab	92.76 ± 0.02 ab
A1B3C3	73.00 ± 0.04 ab	93.40 ± 0.02 ab	19.36 ± 0.25 ab	92.27 ± 0.01 ab
A2B1C2	69.50 ± 0.11 ab	95.98 ± 0.02 a	19.10 ± 0.03 bc	90.98 ± 0.02 ab
A2B2C3	78.50 ± 0.04 a	95.73 ± 0.03 a	18.62 ± 0.23 d	94.57 ± 0.02 a
A2B3C1	65.33 ± 0.06 b	94.78 ± 0.02 ab	19.70 ± 0.11 a	94.10 ± 0.01 a
A3B1C3	80.17 ± 0.04 a	94.50 ± 0.02 ab	19.40 ± 0.18 ab	92.04 ± 0.02 ab
A3B2C1	74.83 ± 0.07 ab	93.58 ± 0.02 ab	18.03 ± 0.34 e	90.07 ± 0.04 ab
A3B3C2	77.50 ± 0.10 a	96.69 ± 0.02 a	18.84 ± 0.19 cd	88.85 ± 0.05 b

表 12 麦片和麦麸作介质的幼虫人工饲料饲养瓜实蝇的效果

Table 12 Effect of rearing <i>Bactrocera cucurbitae</i> on larva artificial diets containing media of oatmeal and wheat bran				
人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters			
	子代孵化率(%) Hatching rate of next generation (%)	化蛹率(%) Pupating rate (%)	平均蛹重(mg) Average pupa weight (mg)	羽化率(%) Emergence rate (%)
D1E1F1	71.50 ± 0.09 ab	95.21 ± 0.04 ab	18.21 ± 0.23 b	91.81 ± 0.02 b
D1E2F2	72.17 ± 0.15 a	97.32 ± 0.01 a	18.37 ± 0.18 ab	95.47 ± 0.03 a
D1E3F3	71.00 ± 0.10 ab	98.67 ± 0.01 a	18.87 ± 0.45 ab	94.96 ± 0.02 ab
D2E1F2	74.33 ± 0.06 a	95.98 ± 0.03 ab	18.59 ± 0.67 ab	94.43 ± 0.05 ab
D2E2F3	73.00 ± 0.10 a	97.66 ± 0.01 a	18.79 ± 0.34 ab	89.08 ± 0.08 b
D2E3F1	72.17 ± 0.09 a	96.47 ± 0.03 ab	18.32 ± 0.07 ab	90.64 ± 0.05 b
D3E1F3	67.17 ± 0.89 b	95.32 ± 0.03 ab	18.61 ± 0.67 ab	96.17 ± 0.03 a
D3E2F1	69.00 ± 0.87 b	95.24 ± 0.03 ab	19.04 ± 0.58 a	94.27 ± 0.02 ab
D3E3F2	69.50 ± 0.08 b	94.29 ± 0.05 b	18.54 ± 0.54 ab	96.31 ± 0.02 a

2.2.2.3 饲养南亚果实蝇的效果 试验结果(表 13,表 14)显示,9 种幼虫人工饲料中饲养南亚果实蝇效果较好的分别为 A2B2C3 与 D3E1F3,二者子代孵化率和化蛹率接近,但 A2B2C3 的平均蛹重和羽化率分别为(22.83 ± 1.38) mg 与 95.82% ± 0.03%,分别高于后者约 2.77 mg 与 2.52%,更适用于南亚果实蝇幼虫的饲养。

表 13 玉米和麦麸作介质的幼虫人工饲料饲养南亚果实蝇的效果

Table 13 Effect of rearing <i>Bactrocera tau</i> on larva artificial diets containing media of corn and wheat bran				
人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters			
	子代孵化率(%) Hatching rate of next generation (%)	化蛹率(%) Pupating rate (%)	平均蛹重(mg) Average pupa weight (mg)	羽化率(%) Emergence rate (%)
A1B1C1	76.00 ± 0.02 abc	97.52 ± 0.01 a	19.94 ± 0.11 ef	91.64 ± 0.02 b
A1B2C2	82.00 ± 0.05 a	93.67 ± 0.23 b	21.54 ± 0.20 bcd	87.02 ± 0.02 c
A1B3C3	71.17 ± 0.06 bc	95.14 ± 0.03 ab	20.35 ± 0.48 ef	92.14 ± 0.02 b
A2B1C2	68.17 ± 0.04 bc	96.83 ± 0.01 a	22.54 ± 0.77 ab	96.86 ± 0.02 a
A2B2C3	76.96 ± 0.12 ab	94.69 ± 0.02 b	22.83 ± 1.38 a	95.82 ± 0.03 a
A2B3C1	66.33 ± 0.06 c	96.28 ± 0.02 a	21.74 ± 0.34 bc	96.55 ± 0.01 a
A3B1C3	76.83 ± 0.04 ab	97.84 ± 0.01 a	20.85 ± 0.38 cde	91.86 ± 0.04 b
A3B2C1	72.17 ± 0.04 abc	93.88 ± 0.04 b	20.59 ± 0.41 def	90.83 ± 0.01 b
A3B3C2	68.17 ± 0.55 bc	95.13 ± 0.04 ab	19.78 ± 0.41 f	91.41 ± 0.01 b

表 14 采用麦片和麦麸作介质的幼虫人工饲料饲养南亚果实蝇的效果

Table 14 Effect of rearing *Bactrocera tau* on larva artificial diets containing media of oatmeal and wheat bran

人工饲料 Artificial diet	生物学参数 Biological parameters			
	子代孵化率(%) Hatching rate of next generation (%)	化蛹率(%) Pupating rate (%)	平均蛹重(mg) Average pupa weight (mg)	羽化率(%) Emergence rate (%)
D1E1F1	74.25 ± 0.06 a	96.48 ± 0.03 a	18.13 ± 0.62 b	95.76 ± 0.01 ab
D1E2F2	77.17 ± 0.10 a	95.72 ± 0.02 a	18.76 ± 0.71 ab	94.05 ± 0.01 ab
D1E3F3	72.17 ± 0.10 ab	98.61 ± 0.01 a	18.70 ± 0.41 ab	94.71 ± 0.02 ab
D2E1F2	72.67 ± 0.09 ab	95.56 ± 0.04 a	19.62 ± 0.59 ab	91.44 ± 0.04 b
D2E2F3	76.50 ± 0.11 a	97.46 ± 0.02 a	19.10 ± 0.82 ab	92.55 ± 0.02 b
D2E3F1	70.50 ± 0.12 bc	92.17 ± 0.05 a	19.55 ± 0.75 ab	97.76 ± 0.01 a
D3E1F3	76.00 ± 0.09 a	94.33 ± 0.04 a	20.06 ± 1.55 a	93.30 ± 0.05 ab
D3E2F1	74.17 ± 0.10 a	96.42 ± 0.03 a	19.85 ± 1.33 a	92.20 ± 0.03 b
D3E3F2	69.50 ± 0.11 bc	94.88 ± 0.03 a	19.58 ± 1.19 ab	91.70 ± 0.04 b

上述数据表明,混合介质玉米 + 麦麸总体上优于麦片 + 麦麸;人工饲料 A3B1C3 适宜于橘小实蝇幼虫的饲养,其子代孵化率、化蛹率、羽化率和平均蛹重分别为;81.17% ± 0.05%,96.41% ± 0.02%,94.85% ± 0.01%,(19.40 ± 0.08)mg。而 A2B2C3 适宜于瓜实蝇和南亚果实蝇幼虫的饲养,其子代孵化率、化蛹率、羽化率和平均蛹重分别介于 76.96% ~ 78.50%,94.69% ~ 96.31%,94.57% ~ 95.82%,18.62 ~ 22.83 mg。

3 小结与讨论

试验结果表明:(1)饲养橘小实蝇和瓜实蝇的最佳成虫人工饲料是 1:2 重量比例混合的蔗糖与啤酒酵,用其饲养的单雌产卵量、产卵期和孵化率分别为 424.16 ~ 445.75 粒,30.90 ~ 31.87 d,74.60% ~ 75.40%。这比高强(2005)用蔗糖:啤酒酵母:水 = 3:1:20 配方饲料饲养橘小实蝇成虫的效果略好;而与袁盛勇等(2006)用酵母粉、蔗糖、琼脂、蛋白胨、鸡蛋、对羟基苯甲酸甲酯、山梨酸、抗坏血酸和水等配方配制成的成虫人工饲料饲养橘小实蝇的试验结果相比,尽管单雌产卵量和平均孵化率略低,但省去了许多配方材料,其成本较低廉,配制方法也更简便。(2)玉米或麦片用作幼虫人工饲料的介质比米糠或麦麸好;而混合介质与单一介质相比,其营养成分和理化性状等

更利于实蝇幼虫的生长发育。从饲养效果、取材方便和廉价等综合评价,混合介质玉米 + 麦麸优于麦片 + 麦麸。(3)橘小实蝇的幼虫人工饲料优化配方为:玉米 + 麦麸(125 g + 25 g),蔗糖 25 g,啤酒酵母 25 g,对羟基苯甲酸甲酯 0.9 g,1 mol/L 盐酸 4 mL,纸巾 4 g,自来水 300 mL;而瓜实蝇和南亚果实蝇的幼虫人工饲料优化配方为:玉米 + 麦麸(100 g + 50 g),蔗糖 30 g,啤酒酵母粉 25 g,以及一定量的其他组分(同橘小实蝇)。

据作者连续 4 年(2007—2011)的试验数据,实蝇的规模化人工饲养和繁殖,幼虫一般按每饲养盒盛装 2 份配方量的人工饲料,饲养密度为 4 000 ~ 4 500 头/盒;而成虫的饲养应采用大型饲养笼,饲养密度为 15 000 ~ 20 000 头/笼。同时,每饲养和繁殖 5 ~ 6 代后应及时引入野生种群进行复壮,以保持室内累代繁殖种群正常的生活与生殖力。

致谢:海南大学环境与植物保护学院的李妮和黄楚茹同学曾参加部分工作,特此致谢!

参考文献 (References)

Mitchell S, Tanaka N, Steiner LF, 1965. Method of mass culturing melon fly and oriental and Mediterranean fruit flies. USDA, ARS. 33 - 104.

Singh P, Moore RF, 1985. Handbook of Insect Rearing, Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo. Vol. 1. 287 – 293.

Tanaka N, Steiner LF, Ohinaka K, Okamoto R, 1969. Low-cost larval rearing medium for mass production of oriental and Mediterranean fruit flies. *J. Econ. Entomol.* , 62(4): 967 – 968.

Vargas RI, 1988. Mass production of tephritid fruit flies// IHooper G, Robinson W (eds.). Fruitflies, Their Biology, Natural Enemies and Control. World Crop Pests, Elsevier, Amsterdam. 141 – 152.

高强,2005. 橘小实蝇人工饲料的研究. 硕士学位论文. 武汉:华中农业大学.

李丽丽,2009. 橘小实蝇大量饲养技术优化. 学位论文. 福州:福建农林大学.

梁忆冰,1967. 日本饲养实蝇幼虫人工饲料的两种配方. 植物防疫检查报告,5 (3):37 – 39.

王延年,1990. 昆虫人工饲料的发展、应用和前途. 昆虫知识,27 (5):310 – 312.

王宗楷,1964. 昆虫饲养. 北京:科学出版社. 251 – 252.

袁盛勇,孔琼,肖春,杨仕生,孙文,张建波,李正跃,2006. 桔小实蝇成虫人工饲料的筛选. 华中农业大学学报,25 (4):371 – 374.