应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2019, 56(2): 333−341. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2019.041

沙棘绕实蝇成虫和幼虫人工饲料研究*

陆 燕[1**] 朱建梅[1] 阿地力·沙塔尔[1***] 吾拉别克[2] 金格斯[3]

（1. 新疆农业大学林学与园艺学院，乌鲁木齐 830052；2. 布尔津县林业局，布尔津 836600；
3. 阿勒泰地区林业有害生物防治检疫局，阿勒泰 836599）

摘 要 **【目的】** 本研究建立了沙棘绕实蝇 *Rhagoletis batava* Hering 实验种群，为该实蝇生物防治工作奠定基础。**【方法】** 以蜂蜜、蔗糖、酵母膏等为原料，按照不同配比配成饲料，饲养沙棘绕实蝇成虫，观察其对成虫性成熟、交配产卵以及寿命的影响。此外，在室内条件（25.00±2.50）℃，光照周期为 15L∶9D，相对湿度 65.00%±5.00%，以蔗糖、酵母膏、麦麸、沙棘果汁（果酱）等为原料，按照不同配比配成饲料，饲养沙棘绕实蝇幼虫，观察其对幼虫历期+化蛹历期、化蛹率及蛹特性的影响。**【结果】** 4 种不同配比的饲料对成虫性成熟、交配时间、产卵痕数量和雌雄成虫寿命有显著影响；其中配方 D 饲养的沙棘绕实蝇成虫性成熟历期、交配时间和产卵痕数量、雌雄成虫寿命分别为（1.78±0.09）d、（4.15±0.03）h、（4.52±0.17）个、（15.47±0.77）d 和（15.15±0.79）d，与配方 A、B、C 均有极显著性差异（$P<0.01$）。幼虫半人工饲料最佳配方为配方 C，其化蛹率、幼虫历期+化蛹历期、蛹长、蛹宽、蛹重分别为 50.00%±2.89%、（7.20±0.16）d、（4.74±0.03）mm、（2.45±0.24）mm、（7.21±0.11）mg；全人工饲料最佳配方为配方 C，其化蛹率、幼虫历期+化蛹历期、蛹长、蛹宽、蛹重分别为 35.00%±7.64%、（5.38±0.18）d、（4.26±0.04）mm、（2.30±0.02）mm、（6.12±0.18）mg；果酱饲料最佳配方为配方 C，其化蛹率、幼虫历期+化蛹历期、蛹长、蛹宽、蛹重分别为 45.00%±2.89%、（7.11±0.16）d、（4.45±0.07）mm、（2.44±0.02）mm、（6.78±0.21）mg。**【结论】** 沙棘绕实蝇成虫饲养最佳配方为酵母膏 20 g、蜂蜜 20 g、纯净水 160 mL；幼虫半人工饲料最佳配方为蔗糖 10 g、酵母膏 15 g、麦麸 30 g、沙棘果汁 50 mL；幼虫全人工饲料最佳配方为蔗糖 10 g、酵母膏 15 g、麦麸 30 g、纯净水 50 mL；幼虫饲养最佳果泥饲料配方为沙棘果酱 50 g、酵母膏 3 g、尼泊尔金 0.3 g。

关键词 沙棘绕实蝇；人工饲料；配方；正交试验设计；筛选

An improved artificial diet for adults and larvae of *Rhagoletis batava* Hering

LU Yan[1**] ZHU Jian-Mei[1] ADILI · Shataer[1***] WULA Bieke[2] JIN Ge-Si[3]

(1. Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Burqin County Forestry Bureau, Burqin 836600, China;
3. Altay Regional Forestry Pest Control Quarantine Bureau, Altay 836599, China)

Abstract **[Objectives]** A *Rhagoletis batava* Hering population was established to facilitate research on the biological control of this pest. **[Methods]** Adults were fed four different diets containing different proportions of honey, sucrose and yeast extract to investigate the effects of diet on sexual maturation, mating, oviposition and longevity. Larvae were kept at(25.00±2.50)℃, under an indoor light cycle of 15L∶9D and relative humidity of 65.00% ± 5.00% and fed on different proportions of sucrose, yeast extract, oat bran, seabuckthorn fruit juice and jam, to determine the effects of these different diets on the duration of the larval and pupal stages and the pupation rate. **[Results]** Adults fed on the four different diets had significantly different times to sexual maturity, mating times, female fecundity and life span. Of the four diets, diet D was the best; the duration to sexual maturity, mating time, female fecundity, and lifespan of adults fed this diet were (1.78±0.09) d, (4.15±0.03) h, (4.52±0.17), (15.47 ±0.77) d and (15.15 ±0.79) d, which were significantly different from those of adults that

*资助项目 Supported projects：新疆维吾尔自治区科技支疆项目（2016E02011）；《新疆维吾尔自治区林业有害生物防治检疫局项目“沙棘林实蝇害虫生物生态学特性研究”》（新林计字 2015-610）

**第一作者 First author，E-mail：627195707@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：adl1968@126.com

收稿日期 Received：2018-11-06；接受日期 Accepted：2019-01-23

were fed diets A, B and C (P<0.01). The best semi-artificial diet for larvae was diet C, and the pupation rate, larval period + pupal period, pupal length, pupal width and pupal weight of larvae fed this diet were 50.00%±2.89%, (7.20±0.16)d, (4.74±0.03)mm, (2.45±0.24)mm and (7.21±0.11)mg, respectively. The best completely artificial diet for larvae was diet C; larvae fed on this diet had a pupation rate, larval period + pupation period, pupal length, pupal width and pupal weight of 35.00%±7.64%, (5.38±0.18)d, (4.26±0.04)mm, (2.30±0.02)mm and (6.12±0.18)mg, respectively. The best jam-based diet for larvae was diet C, with a pupation rate, larval period + pupation period, pupal length, pupal width and pupal weight of 45.00%±2.89%, (7.11±0.16)d, (4.45±0.07)mm, (2.44±0.02)mm, (6.78±0.21)mg, respectively. **[Conclusion]** The optimal diet for adult *R. batava* was 20 g yeast paste, 20 g honey and 160 mL purified water. The best semi-artificial diet for larvae was 10 g of sucrose, 15 g of yeast extract, 30 g of wheat bran and 50 mL of sea buckthorn juice. The best completely artificial diet for larvae was also comprised of 10 g of sucrose, 15 g of yeast extract, 30 g of wheat bran, and 50 mL of purified water. The best jam-based diet for larvae was 50 g seabuckthorn jam, 3 g yeast extract and 0.3 g Nepali gold.

Key words *Rhagoletis batava* Hering; artificial feed formula; orthogonal experimental design; screening

沙棘绕实蝇 *Rhagoletis batava* Hering 隶属双翅目（Diptera）实蝇科（Tephritidae）绕实蝇属（*Rhagoletis*），其幼虫蛀食沙棘果，导致受害沙棘果丧失其经济价值，大发生时能够造成沙棘果减产（武福亨和赵玉珍，2004）。1985 年在我国辽宁省建平县罗福沟乡沙棘林中发现，20 世纪 80 年代末、90 年代初对该实蝇的发生和防治做过一些初步研究（葛葆蔚等，1988；葛葆蔚，1991），但防治方法主要是采用化学农药处理或采用耕作措施处理。沙棘果实主要被用来生产果汁和果酒等食用、药用产品，应采用无公害的方法控制沙棘绕实蝇。近年来，在赵斌等（2017）研究其生物学习性的基础上，张宁等（2017）研究了不同沙棘品种对沙棘绕实蝇的天然抗性，朱建梅等（2018）研究了不同波长的黄板对沙棘绕实蝇引诱效果，但其他无公害防治技术还有待开发。

实蝇类昆虫人工饲养技术是建立实验种群及研究天敌昆虫饲养的前提，同时也是进一步开展不育技术研究的基础。赵斌等（2018）对沙棘绕实蝇的饲养技术进行了初步的探究，但未见对幼虫人工饲养技术的报道。因此，本文在前人研究的基础上，研发了沙棘绕实蝇成虫和幼虫的饲养技术，为建立该实蝇实验种群和生物防治工作奠定基础。

1 材料与方法

1.1 沙棘绕实蝇蛹的采集

2018 年 5 月在新疆阿勒泰地区布尔津县窝依莫克乡托洪特村（47°42′32″N，86°63′58″E，海拔为 1 390 m）沙棘林表层土中采集越冬状态的沙棘绕实蝇蛹。

1.2 试验药品及设备

1.2.1 试验药品 饲料成分：蔗糖（天津市科密欧化学试剂有限公司）、酵母膏（北京奥博星生物技术有限公司）、蜂蜜（新疆禾木喀纳斯彭氏蜜园蜂业有限公司）、沙棘果汁（新疆康元生物科技股份有限公司，配料：沙棘原浆、水、木糖醇等）、沙棘果酱（新疆慧华沙棘生物科技有限公司，配料：沙棘原浆、白砂糖、黄原胶）、山梨酸钾（宁波王龙科技股份有限公司）、麦麸、纯净水等。

1.2.2 试验设备 养虫笼（40 cm×40 cm×40 cm，深圳市宏鸿达科技有限公司）、培养皿（Φ=10 cm，深圳市宏鸿达科技有限公司）、直头吸球式吸虫器（L=165 mm，Φ_1=50 mm，Φ_2=30 mm，深圳市宏鸿达科技有限公司）、电子天平（FA1004，郑州万博仪器设备有限公司）、体式显微镜（SZX 7，舜宇仪器有限公司）、餐盒（Φ_1=100 mm，Φ_2=50 mm，h=5 mm，深圳市丰园餐饮日用有限公司）。

1.3 饲料配制

1.3.1 成虫饲养

（1）成虫获得：将试验地（新疆阿勒泰地区布尔津县窝依莫克乡托洪特村）带回的土壤过筛

后倒入花盆中（厚度为 20 cm），在花盆里浇适量的水备用。从野外采集一定数量的沙棘绕实蝇健康蛹均匀地放在土壤表面，再覆 3 cm 左右的细沙土，在室内条件（25.00±2.50）℃，光照周期：15L∶9D，相对湿度 65%±5.00%（下同）饲养至其羽化。取同日羽化且健康雌、雄虫作为本试验供试虫。

（2）饲料配制：将蔗糖以研钵研磨成粉末，再按照表 1 配方称取各组分。先将酵母膏按照表 1 均匀溶于纯净水中，再将蜂蜜（或蔗糖）按照表 1 配方均匀溶于酵母膏溶液，用玻璃棒充分混合均匀，共配制 4 种配方的人工饲料。

（3）成虫饲养：将室内同日羽化，并同一性别的 20 头成虫为一组移入到养虫笼内，分别以 A、B、C、D 4 种配方饲料饲养，每个配方设 3 个重复。逐日记录雌雄成虫死亡个体数、性成熟历期等。成虫开始交配时，立即将成虫移入到有同样饲料的实蝇饲养装置内，逐日观察记录每对雌雄成虫交配时间；待交尾完毕后，立即将已交配过的雌雄成虫移入到内置有带果实的沙棘果枝（长为 10 cm 左右）的实蝇类昆虫成虫饲养装置内饲养，每日 10:00 更换新鲜的沙棘果枝，并检查前一天沙棘果实上的产卵情况。待雌虫产卵完毕后统计产卵痕数量。

1.3.2　幼虫饲养

（1）幼虫获得：将带有沙棘绕实蝇卵的果实连枝叶一起从野外带回室内，在室内以水培法培养，待卵孵化后，取同日孵化的健康幼虫作为试虫。

（2）饲料配制：称取幼虫半人工饲料配方的 4 种主要成分作为试验因子，每种因子取 3 个水平进行试验设计 L_9（3^4），共配制 9 种配方，各因素及水平如表 2 所示，配方如表 3 所示；称取全人工饲料配方的 4 种主要成分作为试验因子，每种因子取 3 个水平进行试验设计 L_9（3^4），共配制 9 种配方，各因素及水平如表 4 所示，配方如表 5 所示；以沙棘果酱为主要成分配制果酱饲料饲养幼虫配方如表 6 所示。

（3）幼虫饲养：将 20 头幼虫接入到人工饲料中，室内条件下分别用不同配方饲料饲养，每

表 1　沙棘绕实蝇成虫不同配比的人工饲料

Table 1　The proportion of different artificial diet of adult *Rhagoletis batava*

配方 Recipe	酵母膏（g） Yeast extrac (g)	蜂蜜（g） Honey (g)	蔗糖（g） Sucrose (g)	纯净水（mL） Sterile water (mL)
配方 A Recipe A	–	40	–	160
配方 B Recipe B	40	–	–	160
配方 C Recipe C	20	–	20	160
配方 D Recipe D	20	20	–	160

“一”表示未添加该成分。

“一”indicates without that ingredient.

表 2　沙棘绕实蝇幼虫半人工饲料主要成分正交试验的因素和水平

Table 2　Factors and levels of orthogonal test of main components of semi-artificial feed of *Rhagoletis batava* larvae

水平 Levels	因素 Factors			
	蔗糖（g） Sucrose (g)	酵母膏（g） Yeast extrac (g)	麦麸（g） Wheat gluten (g)	沙棘果汁（mL） Sea thorn juice (mL)
1	10	5	10	10
2	20	10	20	30
3	30	15	30	50

表 3 沙棘绕实蝇幼虫不同配比的半人工饲料

Table 3 The proportion of different semi-artificial feed for the larvae of *Rhagoletis batava*

配方 Recipe	蔗糖（g） Sucrose (g)	酵母膏（g） Yeast extrac (g)	麦麸（g） Wheat gluten (g)	沙棘果汁（mL） Sea thorn juice (mL)
配方 A Recipe A	10	5	10	10
配方 B Recipe B	10	10	20	30
配方 C Recipe C	10	15	30	50
配方 D Recipe D	20	5	20	50
配方 E Recipe E	20	10	30	10
配方 F Recipe F	20	15	10	30
配方 G Recipe G	30	5	30	30
配方 H Recipe H	30	10	10	50
配方 I Recipe I	30	15	20	10

表 4 沙棘绕实蝇幼虫全人工饲料主要成分正交试验的因素和水平

Table 4 Factors and levels of orthogonal test of main composition of the whole artificial feed of *Rhagoletis batava* larvae

水平 Level	因素 Factors			
	蔗糖（g） Sucrose (g)	酵母膏（g） Yeast extrac (g)	麦麸（g） Wheat gluten (g)	沙棘果汁（mL） Sea thorn juice (mL)
1	10	5	10	10
2	20	10	20	30
3	30	15	30	50

表 5 沙棘绕实蝇幼虫不同配比的全人工饲料

Table 5 The proportion of different artificial diet of *Rhagoletis batava* larvae

配方 Recipe	蔗糖（g） Sucrose (g)	酵母膏（g） Yeast extrac (g)	麦麸（g） Wheat gluten (g)	沙棘果汁（mL） Sea thorn juice (mL)
配方 A Recipe A	10	5	10	10
配方 B Recipe B	10	10	20	30
配方 C Recipe C	10	15	30	50
配方 D Recipe D	20	5	20	50
配方 E Recipe E	20	10	30	10
配方 F Recipe F	20	15	10	30
配方 G Recipe G	30	5	30	30
配方 H Recipe H	30	10	10	50
配方 I Recipe I	30	15	20	10

表 6 沙棘绕实蝇幼虫不同果酱饲料的配比

Table 6 Proportion of different jam feed of *Rhagoletis batava* larvae

配方 Recipe	山梨酸钾（g） Potassium sorbate (g)	酵母膏（g） Yeast extrac (g)	沙棘果酱（g） Sea buckthorn jam (g)
配方 A Recipe A	0.30	3.00	10.00
配方 B Recipe B	0.30	3.00	30.00
配方 C Recipe C	0.30	3.00	50.00

个配方设 3 个重复，逐日观察记录化蛹日期和数量，待幼虫全部化蛹完毕后统计蛹的数量，计算化蛹率。在显微镜下拍照并测量蛹的长和宽，以电子天平称重。

1.4　数据处理

运用 SPSS20.0 软件进行单因素方差分析（One-way ANOVA），经方差分析显著后，方差分析用 Duncan's 新复极差统计方法。

2　结果与分析

2.1　成虫人工饲料配方的筛选

试验结果（表 7）可见，以 4 种不同配比人工饲料饲养成虫，以配方 D 效果最好，成虫性成熟历期、交配时间、产卵痕数量、雌雄虫寿命分别为（1.78±0.09）d、（4.15±0.03）h、（4.52±0.17）个、（15.47±0.77）d、（15.15±0.79）d，与其它配方在各项指标均有极显著差异（$P<0.01$）。配方 A、C 的成虫性成熟历期分别为（2.48±0.10）d 和（2.43±0.09）d，无极显著差异（$P>0.01$），比配方 D 饲养的成虫延迟 0.7 d、0.65 d；交配时间分别为（3.21±0.04）h 和（3.70±0.05）h，比配方 D 缩短 0.94 h、0.45 h；雌虫产卵痕数量分别为（2.82±0.13）个和（2.87±0.13）个，配方 D 分别是配方 A、C 的 1.60 倍和 1.57 倍。配方 A、C 雌虫寿命无显著差异（$P>0.01$），配方 D 分别比配方 A、B、C 长 4.99、9.74、3.25 d。配方 A、C 雄虫寿命无显著差异（$P>0.01$），配方 D 分别比配方 A、B、C 长 5.38、10.32、4.82 d。

2.2　幼虫半人工饲料配方的筛选

从试验结果（表 8）可见，配方 C 效果较好。以配方 C 饲养的幼虫化蛹率 50.00%±2.89%，是其他配方的 1.30-5.00 倍；幼虫历期+化蛹历期为（7.20±0.16）d，最接近自然发育的幼虫历期+化蛹历期，与其他配方有显著差异（$P<0.05$）；蛹长、蛹宽、蛹重分别为（4.74±0.03）mm、（2.45±0.24）mm、（7.21±0.11）mg，与其他配方有显著差异（$P<0.05$）。

表 7　不同配比的人工饲料饲养沙棘绕实蝇成虫效果

Table 7　The effect of rearing *Rhagoletis batava* on different adult artificial diets

配方 Recipe	性成熟历期（d） Pre-mating period (d)	交配时间（h） Mating time (h)	产卵痕（个） Egg-laying mark (ind.)	成虫寿命（d）Adult life (d)	
				雌虫 Female	雄虫 Male
配方 A Recipe A	2.48±0.10Aa	3.21±0.04Cc	2.82±0.13Bb	10.48±0.46Bb	9.77±0.58Bb
配方 B Recipe B	–	–	–	5.73±0.23Cd	4.92±0.23Cc
配方 C Recipe C	2.43±0.09Aa	3.70±0.05Bb	2.87±0.13Bb	12.22±0.51Bb	10.33±0.59Bb
配方 D Recipe D	1.78±0.09Bb	4.15±0.03Aa	4.52±0.17Aa	15.47±0.77Aa	15.15±0.79Aa

数据为平均值±标准误，同列数据后标有不同大写字母表示在 $P=0.01$ 水平差异极其显著，标有不同的小写字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。下表同。

Data are mean±SD, and followed by the different upper case letters in the same column indicate extremely significant difference at 0.01 level, while followed by the different lower case letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

配方中各物质比例不同，饲养效果也不同。观察化蛹率指标可知，配方 C、G、I 的化蛹率都大于 35%。蔗糖、酵母膏、麦麸、沙棘果汁的比例分别是 2∶3∶6∶10、6∶1∶6∶6、6∶3∶4∶2。

2.3　幼虫全人工饲料配方的筛选

从试验结果（表 9）可见，配方 C 效果较好。以配方 C 饲养的幼虫化蛹率为 35.00%±7.64%；高于其他配方。幼虫历期+化蛹历期为（5.38±0.18）d，与自然发育条件下的幼虫历期+化蛹历期最接近；蛹长、蛹宽、蛹重分别为（4.26±0.04）mm、（2.30±0.02）mm、（6.12±0.18）mg，各项指标均高于其他配方。

配方中各物质比例不同，饲养效果也不同。观察化蛹率指标可知，配方 A、C、I 的化蛹率

表 8 不同配比半人工饲料饲养沙棘绕实蝇幼虫的效果

Table 8 The effect of feeding *Rhagoletis batava* with different larvae semi-artificial feed

配方 Recipe	化蛹率（%） Emergence rate (%)	幼虫历期+化蛹历期（d） Larvae period+Pupation period (d)	蛹长（mm） Length (mm)	蛹宽（mm） Width (mm)	蛹重（mg） Weight (mg)
配方 A Recipe A	31.60±10.14abc	4.37±0.19ef	4.16±0.04bc	2.06±0.03cd	5.12±0.24bc
配方 B Recipe B	18.33±4.41bc	4.64±0.15de	4.27±0.16b	2.07±0.03cd	4.89±0.30bc
配方 C Recipe C	50.00±2.89a	7.20±0.16b	4.74±0.03a	2.45±0.24a	7.21±0.11a
配方 D Recipe D	11.67±1.67bc	3.29±0.29f	4.08±0.06bc	2.11±0.04bcd	4.22±0.18cd
配方 E Recipe E	13.33±6.01bc	4.11±0.48ef	4.00±0.08bc	1.99±0.03d	3.66±0.20de
配方 F Recipe F	26.67±8.33abc	5.44±0.30cd	3.98±0.10bc	1.99±0.04d	4.78±0.27bc
配方 G Recipe G	36.67±4.41abc	5.73±0.16c	4.16±0.03bc	2.17±0.03bc	5.27±0.23b
配方 H Recipe H	10.00±2.87c	4.33±0.33ef	4.21±0.05b	2.21±0.03bc	3.15±0.25e
配方 I Recipe I	38.33±3.33ab	5.57±0.19cd	4.14±0.07bc	2.01±0.03d	5.24±0.15b
CK	–	9.55±0.27a	3.89±0.01c	2.25±0.01b	5.05±0.09bc

表 9 不同配比全人工饲料饲养沙棘绕实蝇幼虫的效果

Table 9 Effects of feeding *Rhagoletis batava* larvae with artificial feed of different proportions

配方 Recipe	化蛹率（%） Emergence rate (%)	幼虫历期+化蛹历期（d） Larvae period+Pupation period (d)	蛹长（mm） Length (mm)	蛹宽（mm） Width (mm)	蛹重（mg） Gravity (mg)
配方 A Recipe A	31.67±7.27ab	3.68±0.13cd	3.99±0.05bcd	2.19±0.04a	5.37±0.36a
配方 B Recipe B	16.67±3.33abc	4.82±0.23bc	4.04±0.04abcd	2.05±0.03bc	5.77±0.45a
配方 C Recipe C	35.00±7.64a	5.38±0.18b	4.26±0.04a	2.30±0.02a	6.12±0.18a
配方 D Recipe D	11.67±1.67bc	3.29±0.28d	4.21±0.04ab	2.18±0.03ab	4.00±0.14c
配方 E Recipe E	11.67±1.67bc	3.67±0.21cd	4.05±0.08abcd	2.15±0.05ab	6.09±0.25a
配方 F Recipe F	20.00±5.77abc	4.58±0.19bc	3.96±0.08bcd	2.00±0.04c	4.42±0.25bc
配方 G Recipe G	11.67±1.67bc	4.00±0.31cd	4.11±0.05abcd	2.01±0.02c	3.53±0.17c
配方 H Recipe H	8.33±1.67c	4.20±0.37cd	4.15±0.02abc	1.91±0.02c	3.32±0.22c
配方 I Recipe I	33.33±3.33a	4.64±0.17bc	3.85±0.05d	2.00±0.02c	5.19±0.08ab
CK	–	9.55±0.27a	3.89±0.01cd	2.25±0.01a	2.25±0.01d

都大于 30%。由 3 种配方可知，蔗糖、酵母膏、麦麸、纯净水的比例分别是 2∶1∶2∶2、2∶3∶6∶10、6∶3∶4∶2，其中效果最好的配方蔗糖、酵母膏、麦麸、纯净水的比例为 2∶3∶6∶10，化蛹率最高。配方 A、C、I 中蔗糖与酵母膏的比例分别为 2∶1、2∶3、2∶1。

2.4 幼虫果酱饲料配方的筛选

从试验结果（表 10）可见，配方 C 效果较好。以配方 C 饲养的幼虫化蛹率为 45.00%±2.89%，与其它配方有显著差异（$P<0.05$）；幼虫历期+化蛹历期为（7.11±0.16）d，与自然发育条件下的幼虫历期+化蛹历期最接近；蛹长、蛹宽、蛹重分别为（4.45±0.07）mm、（2.44±0.02）mm、（6.78±0.21） mg，与其它配方均有显著差异（$P<0.05$），与自然发育的蛹特性也有显著差异（$P<0.05$）。

配方中各物质比例不同，饲养效果也不同。配方 A、B、C 酵母膏与沙棘果汁的比例分别为 3∶10、3∶30、3∶50。

表 10　不同果酱饲料配方对沙棘绕实蝇幼虫发育的影响

Table 10　Effects of different jam feed formulas on the development of larvae of *Rhagoletis batava*

配方 Recipe	化蛹率（%） Emergence rate (%)	幼虫历期+化蛹历期（d） Larvae period+Pupation period (d)	蛹长（mm） Length (mm)	蛹宽（mm） Width (mm)	蛹重（mg） Gravity (mg)
配方 A Recipe A	15.00±2.89b	6.67±0.33b	4.18±0.01b	1.99±0.01c	6.40±0.29a
配方 B Recipe B	25.00±2.89b	6.73±0.18b	4.07±0.04bc	2.08±0.04c	6.56±0.25a
配方 C Recipe C	45.00±2.89a	7.11±0.16b	4.45±0.07a	2.44±0.02a	6.78±0.21a
CK	–	9.55±0.26a	3.89±0.01d	2.25±0.01b	5.05±0.09b

3　小结与讨论

3.1　不同配方饲料对成虫发育的影响

糖和蛋白质是维持实蝇生命活动必要的两种营养物质，糖可以提供能量，蛋白质可以促进实蝇性成熟（袁盛勇等，2006；马沙等，2012），本研究还表明，微量元素也对成虫发育有一定影响。本试验配制的 4 种饲料对成虫的性成熟历期、交配时间、产卵痕数量和成虫寿命影响不同。配方 D 饲养效果最好，因为配方 D 中的蜂蜜提供了能够维持成虫正常生命活动的糖类和微量元素；酵母膏提供了能够促进成虫性器官发育的蛋白质。配方 A 主要成分为蜂蜜，可为成虫提供糖类和微量元素，但缺少蛋白质，不能促进成虫性器官发育。配方 B 提供了足量的蛋白质，但缺少糖类和微量元素，饲养的成虫未性成熟。配方 C 提供糖类，但缺少微量元素，所以饲养效果没有配方 D 效果好。本次筛选出了沙棘绕实蝇成虫较好的饲料配方：即酵母膏 20 g、蜂蜜 20 g、纯净水 160 mL，该配方下成虫性成熟历期、交配时间、产卵痕数量、雌雄虫寿命分别为（1.78±0.09）d、（4.15±0.03）h、（4.52±0.17）个、（15.47±0.77）d、（15.15±0.79）d。该配方既提供了糖类和微量元素维持成虫正常生命活动，又提供了蛋白质促进成虫性器官发育。

赵斌等（2017）报道，以蔗糖、酵母浸粉按 3∶1 比例配制饲料饲养成虫，成虫的寿命最长，雌虫平均寿命为（13.19±0.72）d，雄虫平均寿命为（14.87±0.83）d；怀卵量也最大，8 日龄雌虫的平均怀卵量为（57.12±6.51）粒。平均寿命为 14.04 d，与本试验平均寿命的结果 15.31 d 相近。由此可见，该沙棘绕实蝇成虫人工饲料可使成虫获得较长的寿命和较高的生殖力。但区别在于本试验配方以蜂蜜作为糖原，蜂蜜提供了糖类和微量元素维持成虫正常生命活动，营养成分较全面，能够满足沙棘绕实蝇成虫正常生长发育。但由于最佳饲养密度、最佳饲养环境还未确定，从而造成该配方中的实蝇死亡。所以，成虫饲养环境和饲养密度待进一步优化。

阿不都瓦哈·艾再孜等（2017）报道，以相同配方饲养枣实蝇 *Carpomya vesuviana* Costa 筛选出的最佳配方与本试验结果一致。在该配方下，枣实蝇的性成熟历期为（5.00±1.04）d、交配时间为（5.20±0.63）h、产卵痕为（2.90±1.24）个/果、雌虫寿命为（38.00±6.45）d、雄虫寿命为（19.50±6.60）d，说明该配方的营养成分和配比可以同时满足这两种实蝇生长发育的需要。

3.2　不同配方饲料对幼虫发育的影响

本研究筛选出的幼虫较好半人工饲料配方为：蔗糖 10 g、酵母膏 15 g、麦麸 30 g、沙棘果汁 50 g，其中蔗糖、酵母膏、麦麸、沙棘果汁的比例为 2∶3∶6∶10，化蛹率最高，该比例条件下，沙棘果汁含量最多，说明在幼虫半人工饲料中沙棘果汁的含量起关键作用，沙棘果汁中所含的多种营养复合物更有利于幼虫的生长发育。果酱饲料配方为：沙棘果酱 50 g，酵母膏 3 g，山梨酸钾 0.3 g，3 种果酱饲料配方中酵母膏和山梨酸钾的含量不变，配方 C 沙棘果酱含量最多，效果最好，化蛹率最高，说明饲料中沙棘果酱的含量对幼虫发育起关键作用。沙棘绕实蝇幼虫食性专一，目前只危害沙棘，所以沙棘是目前幼虫

饲养必不可少的物质。而沙棘果酱是以沙棘为主要原料制成的食品，最接近自然生长的沙棘，所以在饲料质地、气味最接近幼虫的喜嗜性。且添加防腐剂后，饲料不易变质。

半人工饲料配方和果酱饲料配方都取得了较好的饲养效果，化蛹率达到了 45%-50%，而全人工饲料（蔗糖 10 g、酵母膏 15 g、麦麸 30 g；纯净水 50 g）饲养效果不是很理想，仅为 35.00%±7.64%。全人工饲料配方 A、C、I 中蔗糖与酵母膏的比例分别为 2∶1、2∶3、2∶1，说明在蔗糖含量一定的情况下，酵母膏增多有利于提高幼虫的化蛹率。所以，在幼虫全人工饲料中蛋白质的含量起关键作用。添加沙棘果汁有利于提高化蛹率，沙棘果汁中所含的维生素、黄铜、微量元素等营养物质在幼虫发育中必不可少。幼虫化蛹率是衡量幼虫饲料配方饲养效果的关键指标，虽然饲养效果最好的半人工饲料化蛹率为 50.00%±2.89%，但仍有 50%的幼虫无法正常化蛹。王延年（1984）认为昆虫人工饲料既要包含昆虫生长发育所需的各种营养成分，还要比例适当。3 种幼虫饲料配方为幼虫提供了充足的蛋白质和蔗糖等营养物质，沙棘果汁提供的维生素、脂类是实蝇的营养物质，麦麸能较长时间保持饲料中的水分，满足了沙棘绕实蝇幼虫生长发育的营养条件。但从饲养效果来看，决定半人工饲料饲养效果的关键因素是酵母膏和沙棘果汁的含量，在优化饲料配方时可以适量增加酵母膏和沙棘果汁，以提高幼虫化蛹率。

饲料配方中各物质比例不同，饲养效果也不同。在半人工饲料配方中，最优配方中蔗糖、酵母膏、麦麸、沙棘果汁的比例为 2∶3∶6∶10，化蛹率为 50.00%±2.89%；在全人工饲料配方中，最优配方蔗糖、酵母膏、麦麸、水的比例为 2∶3∶6∶10，化蛹率为 35.00%±7.64%；在果酱饲料配方中，最优配方沙棘果酱、酵母膏比例为 17∶1，化蛹率为 45.00%±2.89%。李丽丽研究表明（2009），橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Henel 幼虫人工饲料最优配方中蔗糖、麦麸、啤酒废酵母的比例为 3∶4∶1，由此配方得到化蛹率 99.33%±0.33%；在不同糖含量对橘小实蝇影响的研究中（潘雅，2016），12%糖含量条件下饲养的幼虫发育历期最短为 6.2 d，最高糖浓度 28%饲养下的桔小实蝇幼虫的发育历期最长为 9.6 d。所以，在优化饲料配方时调整饲料成分的配比，以提高幼虫化蛹率。

据王巧玲等（2014）报道，配制番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* Bezzi 幼虫人工饲料，使用啤酒酵母化蛹率高达 97.33%±0.01%，但在沙棘绕实蝇的幼虫饲养时用啤酒酵母饲料易发酵，幼虫易死亡，而酵母膏是可溶性膏状物，可使饲料保持粘稠，提高幼虫化蛹率。在高强（2005）关于橘小实蝇幼虫饲料配方的研究中，所用的配方主要为：玉米粉 55 g、蔗糖 3 g、酵母粉 7 g、自来水 85 mL、防腐剂 0.15 g，该饲料配方玉米粉中含量丰富糖类、蛋白质和维生素，因此被广泛用做多种植食性昆虫人工饲料。但应用该配方饲养沙棘绕实蝇幼虫时，玉米粉和自来水的配比不适合该幼虫存活，效果不佳。所以在饲养该实蝇幼虫时，应注意介质与液体的比例应与沙棘果实相近，以提高幼虫化蛹率。

本试验幼虫是在饲料中直接化蛹，蛹的体积较小且颜色与饲料颜色相近，所以在饲料中寻找蛹花费时间较长。据袁盛勇等（2003）对橘小实蝇室内饲养技术研究，橘小实蝇老熟幼虫会从食物盘上跳出。所以实蝇类幼虫化蛹时应保持潮湿，通常是在老熟幼虫跳越开始前在化蛹场所用装有一定深度沙的塑料储存箱中化蛹。养虫笼应避免环境污染，养虫笼定期清理，并用酒精消毒，饲养过程中用的细沙、器皿等设备要经常清洗、消毒。

本次研究所筛选的两种半人工饲料配方都取得了较好的饲养效果，幼虫化蛹率达到了 45%-50%。但幼虫饲养的最佳密度、最佳环境还有待优化，以进一步提高幼虫化蛹率。

参考文献 (References)

Abduwahap A, Adil S, Abdulla A, Yu F, Mahmut N, 2017. Effect of the different host plants and foods on the growth development of *Carpomyia vesuviana*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 54(4): 615–620. [阿不都瓦哈·艾再孜, 阿地力·沙塔尔, 阿不都拉·艾

克拜尔, 喻峰, 买合木提·尼亚孜, 2017. 不同食物和寄主植物对枣实蝇生长发育的影响. 应用昆虫学报, 54(4): 615–620.]

Gao Q, 2005. Studies on optimizing and selecting artificial diets for *Bactrocera dorsalis* (Henel). Masteral dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [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.]

Ge BW, Li GH, Zhang YW, Fan YF, 1988. Preliminary research of *Rhagoletis batava*. *Liaoning Forestry Science and Technology*, 1988(3): 45–46. [葛葆蔚, 李桂和, 张玉伟, 范玉峰, 1988. 沙棘果实蝇的初步研究. 辽宁林业科技, 1988(3): 45–46.]

Ge BW, 1991. Prevention and control technology research of *Rhagoletis batava*. *Forest Pest and Disease*, (2): 24–25. [葛葆蔚, 1991. 沙棘果实蝇防治技术的研究. 森林病虫通讯, (2): 24–25.]

Li LL, 2009. Technique optimization of mass rearing oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Henel). Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [李丽丽, 2009. 橘小实蝇大量饲养技术优化. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]

Ma S, Wu GX, Zhu JY, Wang JR, Gao X, Xiao C, Li ZY, 2012. Effects of supplying hydromel and mating behavior on life-span of procecidochares utilis adults. *Acta Agriculurae Jiangxi*, 24(2): 83–85. [马沙, 吴国星, 朱家颖, 汪金蓉, 高熹, 肖春, 李正跃, 2012. 补充蜂蜜水及交配行为对泽兰实蝇成虫寿命的影响. 江西农业学报, 24(2): 83–85.]

Pan Y, 2016. Study on the sugar content of food to fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Henel). Master dissertation. Guangzhou: Huanan Agricultural University. [潘雅, 2016. 橘小实蝇对食物糖含量的影响研究. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学.]

Wang QL, Shao Y, Ren LL, Li ZH, Li TX, Li BS, Zhan GP, 2014. Fruit and beer yeast *Bactrocer*-a *corecta* (Bezi) development influence first report. *China Plant Protection*, 34(1): 70–72. [王巧铃, 邵莹, 任荔荔, 李志红, 李天秀, 李柏树, 詹国平, 2014. 水果和啤酒酵母对番石榴实蝇发育的影响初报. 中国植保导刊, 34(1): 70–72.]

Wang YN, 1984. Insect Artificial Feed Manual. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House Press. 49–50. [王延年, 1984. 昆虫人工饲料手册. 上海: 上海科学技术出版社. 49–50.]

Wu FH, Zhao YZ, 2004. The former Soviet union research and prevention and control of plant diseases and insect pests of *Hippophae rhamnoides*. *Water Resources Development and Management*, 2(4): 44–48. [武福亨, 赵玉珍, 2004. 前苏联沙棘病虫害的研究与防治. 水资源开发与管理, 2(4): 44–48.]

Yuan SY, Xiao C, Li ZY, Zhu JY, 2003. Orange-swatter laboratory breeding technology research. *Acta Agriclturae Universitatis Jiangxiensis*, 25(4): 577–580. [袁盛勇, 肖春, 李正跃, 朱家颖, 2003. 桔小实蝇实验室饲养技术研究. 江西农业大学学报, 25(4): 577–580.]

Yuan SY, Kong Q, Xiao C, Yang SS, Sun W, Zhang JB, Li ZY, 2006. *Bactrocera dorsalis* (Hendel) adults artificial feed screening. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 25(4): 37–40. [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): 37–40.]

Zhang N, Zhu JM, Lu Y, Adil S, Gin G, 2017. Population dynamics and biological characteristics of *Rhagoletis batava* Hering in Burqin county. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 40(6): 409–415. [张宁, 朱建梅, 陆燕, 阿地力·沙塔尔, 金格斯, 2017. 布尔津县沙棘绕实蝇的发生动态及习性研究. 新疆农业大学学报, 40(6): 409–415.]

Zhao B, Su Z, Li SS, Men J, Cheng TM, Wei JR, 2017. Biological characteristics of *Rhagoletis batava obseuriosa* (Diptera: Tephritidae). *Forest Research*, 30(4): 576–581. [赵斌, 苏智, 李莎莎, 门金, 程态明, 魏建荣, 2017. 沙棘绕实蝇的生物学习性. 林业科学研究, 30(4): 576–581.]

Zhao B, Li SS, Su Z, Cao DD, Wei JR, 2018. Rearing of *Rhagoletis batava obseuriosa* adults. *Plant Protection*, 44(4): 114–118,124. [赵斌, 李莎莎, 苏智, 曹丹丹, 魏建荣, 2018. 沙棘绕实蝇成虫饲养研究. 植物保护, 44(4): 114–118, 124.]

Zhu JM, Zhang N, Adil S, Lu Y, Wulabak, Gin G, 2018. Preferences of *Rhagoletis batava* to yellow sticky traps with different wavelengths. *The Forest Diseases and Pests in China*, 3(3): 13–16. [朱建梅, 张宁, 阿地力·沙塔尔, 陆燕, 吾拉别克, 金格斯, 2018. 不同波长的黄板对沙棘绕实蝇引诱效果研究. 中国森林病虫, 3(3): 13–16.]